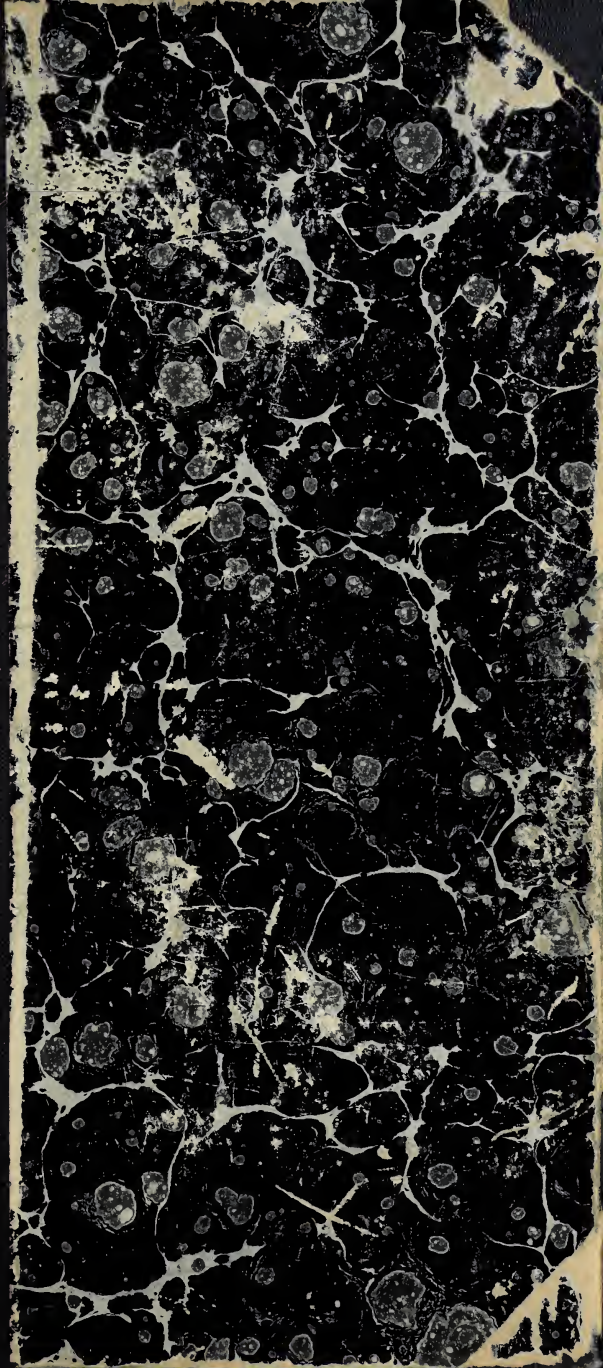
613.31
R74u
Cop. 2



UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

THE UNIVERSITY

OF ILLINOIS

LIBRARY

613.31
R74u
cop. 2

REMOTE STORAGE

DATE DUE DATE DUE
AUG 1 1 1931
APR 3 1937
MAY 26 1937
JUN 9 1933
FEB

Digitized by the Internet Archive
in 2016 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign

https://archive.org/details/untersuchungundv00rott

Bibliothek der gesamten Technik ◦ 67. Band

Die Untersuchung und Verbesserung des Wassers

für alle Zwecke seiner Verwendung

4278

Von

Zivil-Ingenieur **Walter Rottmann**
Berlin

Mit 71 Figuren im Texte

Hannover
Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung
1907

613.31
R74u
Cop. 2

REMOTE STORAGE

Alle Rechte vorbehalten.

Altenburg
Pierersche Hofbuchdruckerei
Stephan Geibel & Co.

Vorwort.

Das vorliegende Buch hat den Zweck, in gedrängter Form über die Maßnahmen und Fortschritte der Technik in bezug auf die sehr mannigfaltigen Fragen der Wasserverbesserung zu berichten. Gerade in der neueren Zeit stellen die beteiligten Industrien an die Eigenschaften ihres Gebrauchswassers die höchsten Anforderungen, und demzufolge erwachsen der Technik schwierige Aufgaben, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Welche Mittel und Wege sich aus den Bedürfnissen der wasserverbrauchenden Industrien herausentwickelt haben, darüber geben die nachfolgenden Seiten die erwünschte Auskunft.

Bei der Bearbeitung des reichhaltigen Stoffes wurden theoretische Erwägungen nur insoweit herangezogen, als sie zum Verständnis der praktischen Seite unbedingt erforderlich erschienen, und es wurde der Hauptwert auf die letztere gelegt. Von diesem Gesichtspunkte aus dürfte das vorliegende Buch eine brauchbare Ergänzung der ohnehin auf diesem Ge-

209825

biete nicht sehr reichhaltigen Literatur sein und den interessierten Kreisen wertvolle Anregung bieten.

Bei der Bearbeitung sind mir von vielen Seiten wertvolle Anregungen und Winke gegeben worden, die ich dankend akzeptiert habe. Insbesondere danke ich Herrn Ingenieur Grimmer, Malstatt-Burbach für das reichhaltige Material, welches er mir zur Verfügung stellte.

Berlin, im Juni 1907.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort III

Einleitung 1

A. Die Eigenschaften des Wassers. 3

Die chemischen Eigenschaften des reinen Wassers 3

Der Kreislauf des Wassers 3

Das Vorkommen des Wassers 4

Meteorwasser 4, Grundwasser 4, Oberflächenwasser 4, Meerwasser 4.

Die Natur der im Wasser gelösten Stoffe . . . 4

Mechanische Beimengungen 4, chemische Beimengungen 5, Bakterien 5.

Die Beschaffenheit der einzelnen Wässer in bezug auf ihre Beimengungen 5

B. Die Verwendung des Wassers und seine Beurteilung 12

Die Verwendung für private und kommunale Zwecke als Trink- und Gebrauchswasser . . . 12

Die Verwendung für gewerbliche Zwecke als Nutzwasser und Fabrikationswasser. 12

Als Dampfkesselspeisewasser 14, Speisewasser für die Dampfkessel der Lokomotiven 15, für Waschanstalten und Bleichereien 16, Tuchfabriken und Färbereien 16, Papier- und Zellulosefabriken 16, Gerbereien und Lederfabriken 17, Stärkefabriken 17, Brauereien 17, Brennereien 17, Eisfabriken 18, Zuckerfabriken 18, Tonwarenfabriken 18, Hefefabriken und Bäckereien 18, Zusammenfassung 18.

Seite

C. Die Aufgaben der Wasserverbesserung. 20
Die Untersuchung des Wassers 21
Die Entnahme von Wasserproben 21
Die Vorprüfung des Wassers 23
Die qualitative Untersuchung des Wassers . . 23
Vorhandensein von Kohlensäure 24, Kalzium und Magnesia 24, Schwefelsäure 25, Chlor 25, Salpetrige Säure 25, Salpetersäure 25, Ammoniak 25, Eisen 26, Schwefelwasserstoff 26, Phosphorsäure 26, organische Substanz 26.
Die quantitative Untersuchung des Wassers. . 27
Die Härte des Wassers 27; ihre Bestimmung nach Clark und Wartha 32 und 33; Bestimmung des Kalkes, der Magnesia u. der Kohlensäure nach Knöfler 36.
Bestimmung des Chlors 38
Bestimmung des Eisens 39
Bestimmung der Schwefelsäure 40
Bestimmung des Kalziums 41
Bestimmung der Magnesia 42
Betriebskontrolle von Wasserverbesserungsanlagen 43
Der Morgensternsche Wasserprober „Securitas“ 43.
Die Verbesserung des Wassers 49
Die mechanische Klärung des Wassers 50
Klärung im ruhenden Wasser 51; Klärung im aufsteigenden Wasserstrom 54; Klärung im ab- und aufwärtsfließenden Wasserstrom 56.
Die Filterung des Wassers 65
Die Langsamfilterung 66; die Schnellfilterung 69; Kombination von Langsamfiltern mit Schnellfiltern 81; Filterung mit vorhergehender mechanischer Klärung 81.
Die chemische Behandlung des Wassers. . . . 83
Die Enteisenung des Wassers 83
Die Enthärtung des Wassers 94
Kalk-Sodaverfahren 94; Kalk-Barytverfahren 151; die im Wasser gelösten Stoffe, welche feste Niederschläge ver-

Seite

ursachen 95, die Eigenschaften der chemischen Zusätze 96, die chemischen Vorgänge bei der chemischen Aufbereitung des Wassers 97, die Berechnung der Zusatzmengen 100, die Apparate und Vorrichtungen zur Zuführung der Chemikalien 104, die automatische Betätigung solcher Vorrichtungen 104.

Die Vorrichtungen für Herstellung gesättigten Kalkwassers 108
Vorrichtungen für den Sodazusatz 120
Vorrichtungen für den Zusatz von Ätznatron 120
Die Vorwärmung 121
Die Besprechung einiger Wasserverbesserungssysteme, welche auf der Kombination chemischer Behandlung, mechanischer Klärung und Filterung des Wassers beruhen:

Der Apparat System „Desrumaux“ 109; Allgemeine Städtereinigungs-Gesellschaft, Wiesbaden 110; O. Smrecker, Mannheim 112; Seiffert & Co., Berlin 114; L. & C. Steinmüller, Gummersbach 116; Schumann & Cie., Leipzig 117; Carl Morgenstern, Stuttgart 127; System „Nuß“, Siegrheinische Hütten, A.-G. 129; Halvor Breda, Berlin (geschlossenes System 133, offenes System 136); F. Carnarius, Friedenau 139; System „Scheidt“ J. Göhring, Offenbach 141; H. Breuer & Co., Höchst am Main 143; System „Rottmann“ J. A. Miller & Co., Berlin 147; Hans Reisert, Köln 151.

Die Kosten der Wasserenthärtung 152
Sonstige Mittel zur Wasserenthärtung 153

Chemisch wirkende 153; mechanisch wirkende 154; Petroleumzusatz 154.

Die Elektrizität im Dienste der Wasserverbesserung 155

Ozonisierungsanlagen 156.

Alphabetisches Sachregister 159

Einleitung.

Von den vielen technischen Aufgaben, welche die fortschreitende Zeit mit ihren wachsenden Bedürfnissen stellt, ist eine der vielseitigsten, interessantesten und vor allem wichtigsten die Beschaffung guten Wassers, welches sich für den Gebrauch als Trinkwasser sowie als Gebrauchswasser für gewerbliche Betriebe eignet. Vielseitig ist diese Aufgabe insofern, als die Zusammensetzung des in der Natur vorkommenden Wassers eine sehr verschiedene sein kann und daher in jedem einzelnen Falle besondere Maßnahmen für das Beseitigen von Stoffen, welche der beabsichtigten Verwendung schädlich sind, erforderlich werden. Die Wichtigkeit dieser Frage erhellt aus den immer weitergehenden Forderungen der verbrauchenden Industrien und Gemeinwesen. Für die richtige Lösung der oft schwierigen Aufgaben auf dem Gebiete der Wasserverbesserung müssen Technik und Chemie sich zu gemeinsamer Arbeit verbinden und in vielen Fällen auch die Forderungen der modernen Hygiene berücksichtigt werden, besonders dort, wo einwandfreies Trinkwasser gewonnen werden soll.

Keineswegs kann es sich bei den in nachfolgendem zu besprechenden Aufgaben um die Herstellung eines chemisch vollkommen reinen Wassers handeln.

Solches kommt im ganzen Haushalt der Natur nicht vor und kann künstlich nur in der Weise gewonnen werden, daß man es verdampft, den Dampf in besonderen Gefäßen auffängt und wiederum verflüssigt, einen Prozeß, welchen wir mit Destillation des Wassers bezeichnen. Es genügt vollkommen, wenn wir aus dem Rohwasser durch technisch-chemische Behandlung ein Produkt gewinnen, welches den jeweils gestellten Anforderungen in jeder Hinsicht entspricht. Es handelt sich also bei den in nachfolgendem zu besprechenden Aufgaben darum, dem Wasser nur immer die Stoffe zu entziehen, die einem bestimmten Zwecke, für welchen das Wasser Verwendung finden soll, schädlich sind. Die Aufgabe, welche die Wasserreinigungstechnik zu lösen hat, besteht demnach nicht in der Herstellung chemisch reinen Wassers, sondern es genügt, ein für den jeweiligen Zweck verwendbares Wasser zu schaffen, welches wir als technisch rein bezeichnen können.

Bevor wir nun in die Erörterung der Mittel und Wege eintreten können, durch welche eine Verbesserung des Wassers bzw. seine brauchbare Gestaltung für die einzelnen Zwecke erreicht werden kann, wird es erforderlich sein, uns näher mit den Eigenschaften des Wassers bekannt zu machen.

A. Die Eigenschaften des Wassers.

Wasser im chemisch reinen Zustande ist das Produkt einer chemischen Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff. Zwei Teile des ersteren Elementes mit einem Teil des letzteren ergeben Wasser in der reinsten Form. Die chemische Bezeichnung des Wassers ist H_2O. Es ist eine klare, farblose und geruchlose Flüssigkeit, die in großen Mengen auf der Erdoberfläche vorkommt. Ungefähr $^2/_7$ derselben sind mit Wasser bedeckt; außerdem befindet es sich in erheblichen Mengen in der Luft, als Wolken sichtbar und als Luftfeuchtigkeit erkennbar. Der ganze Erdboden ist mit Wasser durchtränkt. Ohne seine Gegenwart kein Leben und keine Entwicklung. An den Polen unseres Erdballes sowie auf den Höhen unserer Gebirgszüge finden wir es als Schnee und Eis, und bildet es dort einen wesentlichen Bestandteil für den Bau unserer Erdoberfläche.

Ein großer Teil allen Wassers befindet sich im ständigen Kreislauf. Als Nebel steigt es von der Erdoberfläche auf, ballt sich in den höheren Schichten der Atmosphäre zu Wolken zusammen und fällt von dort als Regen oder Schnee wieder zur Erdoberfläche nieder. Hier sickert es in den Boden und kommt dann als Quelle oder Bach wiederum an die Erd-

oberfläche. Hier findet es sich in den Flüssen, die sich aus Quelle und Bach gebildet haben, und eilt in ihnen dem Meere zu.

Entsprechend diesem Kreislaufe unterscheiden wir in bezug auf das Vorkommen vier verschiedene Arten von Wasser:

1. solches, welches in Gestalt von Regen und Schnee aus der Luft zur Erde fällt, und welches wir unter dem Namen Meteorwasser zusammenfassen;
2. solches, welches sich in den Tiefen der Erde findet und in Gestalt von Quellen an die Oberfläche kommt oder durch Bohren von Brunnen freigelegt wird. Dieses Wasser bezeichnen wir als Grundwasser.

   Als besondere Abart des Grundwassers bezeichnen wir noch die Mineralwässer;
3. solches, welches in Bächen, Flüssen und Seen an der Oberfläche der Erde sich befindet und dementsprechend als Oberflächenwasser bezeichnet wird;
4. schließlich solches, welches die großen Ozeane und Meere füllt und als Meerwasser bezeichnet wird.

Das Wasser besitzt die Eigenschaft, die verschiedensten Substanzen aufzunehmen, zu lösen und sich mit ihnen zu verbinden. Diese Substanzen können wir in drei Hauptgruppen einteilen, und zwar können sich im Wasser vorfinden:

1. mechanische Beimengungen. Das sind solche, welche ungelöst im Wasser enthalten sind und durch ihr Vorhandensein eine Trübung des Wassers hervorbringen;

2. chemische Beimengungen. Solche, welche im Wasser gelöst sind und mit dem Wasser einerseits und unter sich andererseits chemische Verbindungen eingegangen sind;
3. Bakterien. Jene kleinsten Lebewesen, deren Vorhandensein namentlich für den Gebrauch des Wassers als Trinkwasser oft verhängnisvoll sein kann.

Die mechanischen Beimengungen können sehr verschiedenartiger Natur sein, und unterscheiden wir sie am besten nach ihrem spezifischen Gewicht in Schwimmstoffe, Schwebestoffe und Sinkstoffe. Die Bezeichnungen drücken schon das Verhalten dieser Stoffe zum Wasser aus.

Schwimmstoffe sind auf der Oberfläche des Wassers schwimmende leichte Stoffe, wie Staub oder dergleichen. Schwebestoffe sind leichtere Schlammteilchen, deren spezifisches Gewicht dem des Wassers ungefähr entspricht, und die sich daher im Wasser in einer gewissen Gleichgewichtslage befinden. Sinkstoffe sind schwerere Schlammausscheidungen, welche spezifisch schwerer als Wasser sind und daher das Bestreben zeigen, in ruhigem Wasser niederzusinken.

Die chemischen Beimengungen sind in ihrer Zusammensetzung und in der Form ihrer Verbindung mit dem Wasser außerordentlich mannigfaltig. Es sind dies hauptsächlich leichtlösliche Mineralien, wie Kalk- und Magnesiaverbindungen, Chlorverbindungen, Kalium- und Natriumverbindungen und andere, ferner können es Gase sein, die vom Wasser leicht absorbiert werden, wie Kohlensäure, Schwefelsäure und Salpetersäure, auch Metalle, wie Eisen, Blei und andere. Die nachfolgenden Tabellen geben ein Bild von der Löslichkeit verschiedener chemischer Verbindungen im Wasser.

Tabelle 1.

Chemische Verbindung	Chemische Bezeichnung	Löslichkeit in Teilen auf 100 Teile Wasser	Temperatur ° C
Schwefelsaurer Kalk	$CaSO_4$	0,24	21
Chlormagnesium . .	$MgCl_2$	30,7	15
Kaliumkarbonat. . .	K_2CO_3	24,4	10
Natriumkarbonat . .	Na_2CO_3	8,3	10
Kaliumsulphat . . .	K_2SO_4	10,3	15
Natriumsulphat . . .	Na_2SO_4	16,3	18
Chlorkalium.	KCl	32,6	15
Chlornatrium	NaCl	35,7	15

Für kohlensäurehaltige Wasser gilt noch die folgende Tabelle:

Tabelle 2.

Chemische Verbindung	Chemische Bezeichnung	Löslichkeit in Teilen auf 100 Teile Wasser	Temperatur ° C
Kalkspat	$CaCO_3$	12,0	—
Dolomit.	$CaMg(CO_3)_2$	3,1	—
Magnesit	$MgCO_3$	1,2	—
Eisenspat	$FeCO_3$	7,2	—

Die Menge der im Wasser gelösten Salze, besonders Kalk und Magnesia, in Verbindung mit Kohlensäure und Schwefelsäure gibt dem Wasser besondere Eigenschaften. Sind derartige Verbindungen in großer Menge in Lösung, dann bezeichnen wir das Wasser als „hart“; ist dies nicht der Fall, so wird es als „weich“ bezeichnet. Im Verlaufe der weiteren Erörterungen werden wir diese beiden Begriffe „hart“ und „weich“ noch eingehend zu besprechen haben.

Die bakteriologische Beschaffenheit eines Wassers kann nach zweierlei Richtung charakterisiert werden. Wir unterscheiden aerobe Mikroben und anaerobe Mikroben. Die ersteren führen eine Oxydationswirkung herbei, wirken daher reinigend auf das Wasser, in welchem sie sich befinden, bedürfen aber zu ihrer Existenz steter Sauerstoffzufuhr. Sie sind für die sogenannte Selbstreinigung der Flüsse von außerordentlicher Wichtigkeit. Letztere verursachen Gärungs- und Fäulnisprozesse und sind häufig gefährliche Krankheitserreger. Sie machen das Wasser für den Genuß als Trinkwasser unbrauchbar.

Was nun die Zusammensetzung der einzelnen Wässer betrifft, so sind sie, wie schon früher bemerkt, je nach dem Orte ihres Vorkommens und je nach der Einwirkung ihrer Umgebung verschieden.

Meteorwasser gehört zu den reinsten Wassern. Da es ja durch Verdunstung in die Atmosphäre gelangt und aus derselben als Regen oder Schnee wieder zur Erde fällt, so verdankt es sein Entstehen einem Destillationsprozeß. An mechanischen Beimengungen enthält es mehr oder weniger Staub, je nach der Gegend, in welcher es als Regen niederfiel. In Gegenden mit großem Fabrikbetrieb enthält es Kohlenstaub und Ascheteilchen. In der Nähe von Meeren weist es einen geringen Salzgehalt auf. An chemischen Verbindungen finden sich im Meteorwasser die absorbierten Gase der Atmosphäre, wie Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure. Das Wasser kann als ein weiches Wasser bezeichnet werden. Die in der Luft befindlichen Bakterien teilen sich auch dem Meteorwasser mit, so daß es davon nicht ganz frei ist.

Nach vielen angestellten Analysen ist die Zusammensetzung des Meteorwassers die folgende:

Tabelle 3.

	Gehalt auf 100 l in Gramm
Trockenrückstand	3,95
Kalk und Magnesia	0,5
Chlor	0,63
Stickstoff	0,1
Kohlenstoff	0,1
Ammoniak	0,05

Grundwasser ist meist von mechanischen Beimengungen frei, da der Boden als Filter wirkt und alle diese Stoffe zurückhält. Seine chemische Beschaffenheit ist eine außerordentlich verschiedene und läßt sich ganz allgemein darüber keine Regel aufstellen. Die Zusammensetzung des Grundwassers richtet sich nach den Stoffen, mit welchen es in Berührung gekommen ist, und die, sofern sie überhaupt im Wasser löslich sind, zu gewissen Mengen in Lösung gehen.

Im allgemeinen finden sich die Karbonate des Kalkes, der Magnesia und des Eisens, welche durch im Wasser befindliche freie Kohlensäure in Lösung kommen, ferner Alkalimetallverbindungen, Kieselsäure, Silikate, die salpetersauren und schwefelsauren Karbonate des Kalkes und der Magnesia, meist auch Chlor mit seinen Verbindungen. Die Kohlensäure kommt in freiem, halbgebundenem und gebundenem Zustande im Wasser vor. Zu erwähnen sind auch Nitrate, Sulfate und Phosphate der Alkalimetalle. Infolge der bereits erwähnten natürlichen Bodenfiltration kommen Mikroorganismen in Grundwässern seltener vor. Es sei denn, daß sich in der Nähe faule Abwässer befinden, durch die eine Infektion statt-

findet. Auch in Gegenden mit Moorboden kommen Mikroorganismen zuweilen vor; auch ist ein Teil der Humussubstanzen bei solchen Wässern oft in Lösung.

Als Abart der Grundwässer sind hier noch die Mineralwässer erwähnenswert, die dadurch eigentümlich sind, daß sie von bestimmten Mineralien größere Mengen in Lösung haben und dadurch besondere Eigenschaften erlangen. Sie kommen hauptsächlich für die Heilkunde in Betracht und werden von Ärzten zum Trinken als Mittel gegen Krankheiten verordnet.

Die Oberflächenwässer aus den Bächen, Flüssen und Seen sind ebensosehr verschiedenartigen und mannigfaltigen Veränderungen unterworfen wie die Grundwässer. Jedoch sind die einzelnen Verbindungen gewöhnlich nicht in so großen Mengen im Oberflächenwasser vorhanden wie im Grundwasser, was hauptsächlich in der Einwirkung der atmosphärischen Luft seine Erklärung findet. Mechanische Beimengungen sind naturgemäß hier nichts Seltenes, und auch Verunreinigungen durch organische Substanz sowie das Vorhandensein von Bakterien müssen häufig konstatiert werden. Der Grund, warum die im Grundwasser gelösten chemischen Beimengungen bei der Berührung mit der atmosphärischen Luft zum Teil ausfallen, ist der, daß ein Teil der Kohlensäure durch Berührung mit der Luft frei wird; infolgedessen verwandelt sich ein Teil der im Grundwasser gelöst gewesenen Bikarbonate des Kalkes und der Magnesia in die entsprechenden Karbonate und fällt aus, da im Wasser nicht mehr löslich. Ebenso wird durch Einwirkung der Luft auch das Eisen ausgeschieden, da auch dieses im Grundwasser hauptsächlich durch Kohlensäure gebunden war, die an der Oberfläche

frei wird. Die Oberflächenwässer sind daher weicher und eisenfreier wie die Grundwässer.

Eine weitere für die Beschaffenheit der Oberflächenwässer äußerst wichtige Erscheinung ist die der Selbstreinigung der Flußläufe. Die im Wasser enthaltenen organischen und unorganischen Substanzen sinken allmählich zu Boden und lagern sich dort ab. Durch die Einwirkung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft wird fernerhin die organische Substanz zum Teil oxydiert und reduziert, wobei die in vorigem erwähnten aeroben Mikroben mit zur Vernichtung der gefährlichen Bakterien beitragen.

Auch die Zusammensetzung des Oberflächenwassers ist eine sehr verschiedene, und kommen alle möglichen chemischen Verbindungen, wenn auch meist nicht in der gleichen Menge wie im Grundwasser, vor. Es kann daher hier auf die Ausführungen auf Seite 8 verwiesen werden.

Es ist noch erwähnenswert, daß auch die Einwirkung des Sonnenlichtes, der Wärme, sowie die Vegetation im Wasser reinigend auf dasselbe wirken und besonders zur Zerstörung der krankheiterregenden Bakterien erheblich beitragen.

Das Meerwasser, das ja bekanntlich sich durch einen sehr hohen Salzgehalt auszeichnet, zeigt verhältnismäßig geringe mechanische Beimengungen; ebenso ist es auch frei von Bakterien. Seine chemische Zusammensetzung ist verschieden. Der Salzgehalt wird an der Küste, wo der Zufluß des Süßwassers aus Flüssen und Seen erfolgt, geringer sein als weiter ab von der Küste. Die nachfolgende Tabelle enthält ungefähre Angaben über die chemische Zusammensetzung des Meerwassers:

Tabelle 4.

	In 100 Teilen Meerwasser sind enthalten
Natriumchlorid	2,75
Natriumbromid	0,04
Kaliumsulphat	0,17
Calziumsulphat	0,18
Magnesiumsulphat	0,12
Magnesiumchlorid	0,41
Kaliumchlorid	0,28

B. Die Verwendung des Wassers und seine Beurteilung.

Für die Verwendung des Wassers müssen zwei Fälle unterschieden werden:

1. seine Verwendung für private und kommunale Zwecke, als Trink- und Gebrauchswasser;
2. seine Verwendung für gewerbliche Zwecke, als Nutz- und Fabrikationswasser.

An ein für private und kommunale Zwecke dienendes Trinkwasser sind naturgemäß die weitestgehenden Forderungen zu stellen. Für den menschlichen Genuß bestimmtes Wasser soll klar, farblos und geruchlos sein und muß einen guten Geschmack haben. Es darf ferner keine krankheitserregenden Bakterien enthalten. Es soll nicht zu weich sein, da es dann fade schmeckt; vielmehr ist die Gegenwart doppeltkohlensaurer Kalk- und Magnesiasalze für den Geschmack von Vorteil.

Meteorwasser ist für die Verwendung als Trinkwasser meist ungeeignet, da es Bakterien und Staub in größeren Mengen aufgenommen haben kann und da ihm größere Mengen der erwähnten doppeltkohlensauren Kalk- und Magnesiasalze fehlen, wodurch sein Geschmack fade wird. Im Hausgebrauch könnte es

sich höchstens als Waschwasser seiner Weichheit wegen eignen, da durch Verwendung weichen Wassers bedeutende Ersparnisse an Seife erzielt werden.

Brunnenwasser ist sehr geeignet für die Verwendung als Trinkwasser, da es infolge der natürlichen Bodenfiltration meist frei von Mikroorganismen ist und infolge seines Mineraliengehaltes auch von angenehmem Geschmack ist. Jedoch erfordert die Auswahl des zu verwendenden Wassers große Sorgfalt. So ist es zu vermeiden, das Wasser in der Nähe menschlicher Wohnungen dem Boden zu entnehmen, da dieses durch Fäkalien leicht mit gesundheitsschädlichen Bakterien infiziert sein kann. Schädigend für Verwendung ist auch großer Eisengehalt des Brunnenwassers, wodurch die Leitungen schnell verstopft werden und wodurch auch häufig ein minderwertiges Aussehen des Wassers bedingt ist. Auch darf kein schwefelwasserstoffhaltiges Grundwasser als Trinkwasser Verwendung finden, da dieses sich durch üblen Geschmack und schlechten Geruch als für den Genuß unbrauchbar erweist. Für sonstige häusliche Zwecke ist Grundwasser ebenfalls recht gut geeignet. Für seine Verwendung zum Waschen darf es nicht zu hart sein, damit der Seifenverbrauch kein übermäßig großer ist; auch darf es nicht zu große Mengen Eisen enthalten, da sonst mißliche braune Flecken auf der Wäsche entstehen.

Oberflächenwasser ist wohl meist das für häusliche Zwecke am besten geeignete Wasser. Es ist meist nicht zu hart und enthält auch meist keine größeren Eisenmengen. Natürlich muß auch bei diesem Wasser darauf geachtet werden, daß es für die Verwendung als Trinkwasser frei von gesundheitsschädlichen Bakterien ist.

Meerwasser kann ohne weiteres nicht als Trinkwasser dienen, da es zu viel Salz enthält; ebenso ist es für Waschzwecke absolut ungeeignet. Es kann jedoch aus Meerwasser durch Destillation ein einigermaßen einwandfreies Trinkwasser gewonnen werden.

Eine sehr umfangreiche Verwendung findet das Wasser für gewerbliche und Fabrikationsbetriebe, und hier muß es den verschiedensten und mannigfaltigsten Anforderungen genügen. Im folgenden sollen die einzelnen wasserverbrauchenden Betriebe etwas eingehender in bezug auf die Anforderungen, welche sie an ihr Gebrauchswasser stellen, besprochen werden.

Die bei weitem größte und wichtigste Verwendung ist die Verwendung des Wassers zum Speisen von Dampfkesseln *). Die Dampfkessel werden in sehr großer Zahl zur Erzeugung von Dampf für den Antrieb von Betriebsdampfmaschinen gebraucht. Der Vorgang bei ihnen ist der, daß Wasser in die Kessel eingebracht wird und durch Feuer zum Kochen gebracht wird, so daß sich Dampf entwickelt. Dieser Dampf wird dann an die Verbrauchsstellen geleitet, wo er in Arbeit umgesetzt wird. Beim Kochen des Wassers scheiden sich nun einige der im Wasser gelösten Substanzen, besonders die Kalk- und Magnesiasalze, aus und setzen sich auf den Kesselblechen fest. Diese Ablagerungen im Kesselinnern durch Verwendung ungeeigneten Speisewassers sind in vieler Hinsicht schädlich und auch nicht unbedenklich. Ungeeignetes Kesselspeisewasser kann in zweierlei Hinsicht schädigend auf den Dampfkessel und auf den Dampfkesselbetrieb wirken. Einmal sind es die

*) Vgl. Benetsch, „Die Dampfkessel, ihre Bauart, Wirkungsweise und Bedienung". Band 20 der Bibliothek der gesamten Technik.

Ablagerungen auf den Kesselblechen, welche steinhart werden und eine mehr oder weniger feste Kruste bilden und wegen ihrer schlechten Wärmeleitung die volle und rationelle Auswertung des Brennmaterials verhindern. Dadurch, daß sie von Zeit zu Zeit aus dem Kessel entfernt werden müssen, entstehen Betriebsunterbrechungen und Kosten, die sich bei Verwendung guten, geeigneten Wassers vermeiden lassen. Auch die Sicherheit des Dampfkesselbetriebes ist bei Verwendung ungeeigneten Speisewassers nicht vorhanden. Infolge der schlechten Wärmeleitung der Ablagerungen überträgt sich die Heizwirkung der Feuerung nicht leicht auf das Wasser, und es kann vorkommen, daß die Kesselbleche, wenn sie mit Ablagerungen besetzt sind, glühend werden und ihre Widerstandskraft gegen den im Innern des Kessels herrschenden Druck verlieren. Es können dadurch Kesselexplosionen hervorgerufen werden, die in ihren Folgen unabsehbar sind. Zweitens kann das Wasser auch für den vorliegenden Zweck ungeeignet sein, wenn es irgendwelche Säuren enthält, wodurch auf den Kesselblechen im Innern Anfressungen entstehen, welche die Kesselbleche schließlich zerstören und so zur Explosion des Kessels führen können. Solches Wasser ist auch für die Lebensdauer der Kessel äußerst nachteilig und verursacht häufige und umfangreiche Reparaturen.

Bei der Verwendung ungeeigneten Wassers für die Kessel der Lokomotiven treten dieselben Erscheinungen auf wie bei stationären Kesselanlagen. Da die Lokomotivkessel meist mit einer großen Anzahl enger Siederohre versehen sind, sind Ablagerungen steinartiger Massen im Kesselinnern um so bedenklicher, da sie zu Undichtheiten des Kessels führen und auch schwer aus dem Kesselinnern zu entfernen sind.

Waschanstalten und Bleichereien erfordern ein Wasser, welches weich ist. Bei Verwendung weichen Wassers wird nicht so viel Seife gebraucht als bei Verwendung harten Wassers. Die Verseifung im harten Wasser ist eine häufig unvollkommene. Es bildet sich sogenannte Kalkseife, welche in die Fasern der Gewebe einzieht und sie fest und unbiegsam macht. Durch Verwendung weichen Wassers wird ein glänzenderes Weiß der Wäschestücke erzielt. Die Gegenwart von Eisen im Wasser ist schädlich, und erhält die Wäsche dadurch rostbraune Flecken.

In Tuchfabriken und Färbereien sind dieselben Anforderungen an das Wasser zu stellen wie in Wäschereien und Bleichereien. Die Verwendung weichen Wassers bedingt auch hier eine Ersparnis an Rohmaterialien. Es wird weniger Beize gebraucht, auch sind die erzielten Farbentöne bessere. Die im Wasser gelösten Mineralien verbinden sich oft mit den angewandten Farben und machen die Erzielung lebhafter und reiner Farbentöne unmöglich. Eisengehalt des Wassers ist zwar nicht so schädlich wie im Wäscherei- und Bleichereibetrieb, wird aber häufig auch unangenehm empfunden und macht die Ware unansehnlich.

Die Papier- und Zellulosefabrikation erfordert ebenfalls weiches, klares und eisenfreies Wasser zur Erzielung zarter Töne. Auch in diesen Betrieben lassen sich durch Verwendung guten Wassers Ersparnisse erzielen, indem beim Leimen des Fabrikates an Alaun gespart wird. Ein Eisengehalt des Wassers verursacht auch hier leicht Flecken im fertigen Fabrikat. Organische Substanzen beeinträchtigen ebenfalls durch Auftreten von Pilzbildungen das Fertigfabrikat.

In Gerbereien und Lederfabriken muß ebenfalls ein gutes Wasser Verwendung finden. Eisengehalt verursacht eine dunkle Färbung der Felle. Die Härte des Wassers muß bekannt sein, damit der Gerbprozeß danach gestaltet werden kann. Chlorgehalt soll die Festigkeit des Leders ungünstig beeinflussen.

In Stärkefabriken erhalten die Fertigfabrikate durch reines Wasser ein besseres Aussehen. Organische Substanzen im Gebrauchswasser sind für den Wert der Ware schädigend.

Der Brauereibetrieb stellt naturgemäß ganz besonders hohe Anforderungen an die Güte seines Gebrauchswassers, da sein Fabrikat — das Bier — ja als Genußmittel dient. Es muß denselben Anforderungen genügen, welche an ein gutes Trinkwasser zu stellen sind. Gipsgehalt des Wassers ist nicht schädlich. Schwefelsäure-, Natrium- und Magnesiaverbindungen beeinträchtigen die Bekömmlichkeit des Bieres. Kochsalzgehalt stört oft die Diastase des Malzes beim Maischprozeß. Kohlensaure Calzium- und Magnesiaverbindungen sind für die Herstellung heller Biere nachteilig. Chlorgehalt beeinflußt den Keimprozeß des Malzes, und Eisen wirkt auf den ganzen Brauprozeß schädlich.

Auch der Brennereibetrieb verlangt ein gutes Wasser, welches in seiner Beschaffenheit denselben Anforderungen entsprechen muß wie das Brauwasser. Organische Substanzen dürfen auch hier im Wasser nicht enthalten sein, da sie den Gärprozeß störend beeinflußen. Eine zu große Härte des Wassers ist von Nachteil. Besonders beim Mischen des Spiritus mit solchem Wasser entstehen Trübungen. Ebenso entstehen in Kühlern und Dephlegmatoren kalkartige Niederschläge wie beim

Dampfkessel, die durch Ausscheidung der Calzium- und Magnesiaverbindungen hervorgerufen werden.

Die Fabrikation von künstlichem Eis erfordert vor allen Dingen dann klares, luftfreies und eisenfreies Wasser, wenn es sich um Herstellung von Klareis handelt.

In der Zuckerfabrikation sind organische Substanzen, wenn sie im Wasser vorkommen, von Nachteil. Besonders ist ein Gehalt des Wassers an kohlen-, schwefel- und salpetersauren Calzium- und Magnesiaverbindungen von großem Nachteil, weil sie die Ausbeute an Zucker vermindern und größere Mengen Melasse bilden.

Ferner sind auch an das Nutzwasser der Tonwarenfabriken gewisse, wenn auch mäßige Anforderungen in bezug auf Güte zu stellen. Die Anwesenheit größerer Mengen im Wasser gelöster Salze verursacht ein Auswittern an den fertigen Fabrikaten.

In Hefefabriken sowie Bäckereien dürfen keine Wässer, die reich an organischen Stoffen sind, Verwendung finden, da dadurch der Gärpropeß beeinflußt wird.

Für die Beurteilung des Wassers ist der Umstand maßgebend, für welche Zwecke und Betriebe es Verwendung finden soll. Bei der für die weitere Behandlung dieser Frage so großen Wichtigkeit mögen im nachstehenden die Erfordernisse der einzelnen Betriebe in bezug auf das Wasser nochmals kurz Erwähnung finden.

Trinkwasser — klares, farbloses, geruchloses Wasser ohne organische Substanz, besonders ohne krankheiterregende Bakterien, nicht zu weich, einiger Gehalt an doppeltkohlensauren Kalk- und Magnesiasalzen.

Dampfkesselspeisewasser — sehr weiches Wasser, ohne Kalk- und Magnesiasalze, ohne Eisen, ohne Säuren, mechanisch rein, ohne Chlorverbindungen, ohne fettige Substanz.

Wasser für Lokomotivkessel — dieselben Anforderungen.

Waschanstalten und Bleichereien — weiches Wasser, ohne Kalk- und Magnesiaverbindungen, ohne Eisengehalt.

Tuchfabriken und Färbereien — dieselben Anforderungen.

Papier- und Zellulosefabriken — dieselben Anforderungen, ohne organische Substanz.

Gerbereien und Lederfabriken — Wasser mittelhart, ohne Eisen- und ohne Chlorverbindungen.

Stärkefabriken — Wasser ohne mechanische Beimengungen, ohne Eisen und ohne organische Substanz.

Brauereien — klares, farbloses und geruchloses Wasser ohne organische Substanz und ohne krankheiterregende Bakterien, mittelhart, ohne Natrium- und Magnesiaverbindungen, ohne Kochsalzgehalt und ohne Eisengehalt.

Brennereien — klares, farbloses und geruchloses Wasser ohne organische Substanz und ohne krankheiterregende Bakterien, mittelhart.

Eisfabrikation — für Klareis ohne Eisen und luftfrei.

Zuckerfabrikation — weiches Wasser ohne kohlen-, schwefel- und salpetersaure Kalk- und Magnesiaverbindungen und ohne organische Substanz.

Tonwarenfabriken — Wasser ohne größere Mengen sich leicht ausscheidender Verbindungen.

Hefefabrikation und Bäckereien — Wasser frei von organischer Substanz.

C. Die Aufgaben der Wasserverbesserung.

Vielseitige und mannigfaltige Anforderungen sind es, welche die einzelnen Betriebe an ihr Nutzwasser stellen, und die wir im vorigen eingehend erörtert haben. Die Aufgabe des Technikers ist es nun, die in ihrer Zusammensetzung so verschiedenartigen Wässer derart zu behandeln, daß sie den Anforderungen der Betriebe, in welchen sie gebraucht werden, entsprechen. Dazu gehört vor allen Dingen die Kenntnis der Zusammensetzung der einzelnen Wässer und darauf die richtige Behandlung derselben, um sie den Anforderungen entsprechend zu verbessern. Die Aufgaben, welche der sich mit Wasserverbesserung befassende Techniker hat, sind demnach zweierlei:

1. die Untersuchung des Wassers auf seine Zusammensetzung;
2. die Wahl der richtigen Mittel zur Verbesserung des Wassers.

Wir widmen uns zunächst etwas ausführlich der ersten Aufgabe und kommen zur Besprechung der Maßnahmen und Methoden, mittelst welcher das Vorhandensein chemischer Verbindungen oder sonstiger Substanzen im Wasser nachgewiesen wird.

Die Untersuchung des Wassers.

Die Untersuchung des Wassers wird nach zweierlei Gesichtspunkten vorzunehmen sein. Es wird sich darum handeln,

1. zu ermitteln, welche Bestandteile überhaupt im Wasser enthalten sind, und
2. in welchen Mengen sie sich im Wasser vorfinden.

Die erstere Maßnahme nennen wir die qualitative Untersuchung, die letztere die quantitative Untersuchung des Wassers.

Bevor auf die Art und Weise, wie diese Untersuchungen durchgeführt werden, näher eingegangen werden kann, müssen wir einiges über die Entnahme und Beschaffenheit von Wasserproben hier anführen.

Die Entnahme von Wasserproben.

Man wendet zur Aufnahme der Wasserproben am besten gutgereinigte gläserne Gefäße (Flaschen) an, deren Verschluß durch Glasstopfen oder neue noch ungebrauchte Korke erfolgt. Die Anwendung alter Korke ist zu vermeiden. Die zur Anwendung kommenden Korke werden zweckmäßig vor Gebrauch einige Zeit in dem betreffenden Wasser gespült, bis sie sich damit vollgesogen haben.

Für eine oberflächliche Untersuchung des Wassers genügen 1—2 l desselben, für eine genaue Bestimmung der Zusammensetzung sind 4—5 l erforderlich. Vor der Füllung der Flaschen spült man dieselben erst einige Male mit dem betreffenden Wasser aus. Man füllt die Flasche, indem man sie in das betreffende Wasser eintaucht. Hierbei muß darauf geachtet werden, daß das Eintauchen tief genug erfolgt,

damit an der Oberfläche des Wassers befindlicher Staub und Schmutz nicht mit in die Flaschen gelangt. Ebenso muß man, wenn das zu untersuchende Wasser aus Brunnen oder Wasserleitungen entnommen wird, das in den Rohrleitungen stehende Wasser erst herauslassen, damit man wirklich das Wasser aus dem Brunnen erhält und nicht das in den Rohrleitungen gestandene. Bei Entnahme von Wasser aus Leitungen ist zu vermeiden, dasselbe aus Behältern, welche sich in den Leitungen eingeschaltet befinden, zu entnehmen.

An den Flaschen, welche die entnommenen Proben enthalten, werden zweckmäßig Zettel befestigt, auf welchen Zweck, Zeit und Ort der Entnahme, außerdem Temperatur bei Entnahme und Art des Wassers vermerkt sind.

Bei Entnahme der Proben aus Flußläufen hat man sich vorher Gewißheit darüber zu verschaffen, ob nicht zeitweise Abwässer aus in der Nähe liegenden Orten oder Fabriken in den Fluß gelangen. Sollte dies der Fall sein, dann muß man an mehreren Tagen zu verschiedenen Zeiten Proben nehmen. Es ist in dem Falle des Zufließens von Abwässern auch zu befürchten, daß die einfließenden Abwässer sich noch nicht genügend mit dem Wasser des Flußlaufes gemischt haben. Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, nimmt man mehrere Proben aus verschiedenen Tiefen, was in der Weise geschieht, daß man die Flasche mit ihrer Öffnung nach oben an eine Stange bindet und mit einem Kork lose verschließt, welcher mit einer an der Stange entlang führenden Schnur versehen ist. Man bringt die Flasche in die gewünschte Tiefe und zieht an der Schnur den Kork heraus. Es füllt sich dann die Flasche mit dem entsprechenden Wasser aus der gewünschten Tiefe.

Die Vorprüfung des Wassers.

Bevor in die qualitative Untersuchung des Wassers eingetreten wird, ist dasselbe auf seinen Geruch und Geschmack zu prüfen. Ist der Geruch im kalten Zustande des Wassers nicht festzustellen, dann erwärme man ca. $^1/_2$ l des Wassers auf ca. 60°. Der Geruch tritt dann deutlicher hervor. Die wahrgenommenen Gerüche können ihren Ursprung in dem Vorhandensein von Leuchtgas, Schwefelwasserstoff usw. haben.

Die Geschmacksprüfung wird möglichst gleich an Ort und Stelle vorgenommen. Das Wasser schmeckt fade, wenn es wenig doppeltkohlensaure Calzium- oder Magnesiaverbindungen sowie wenig freie Kohlensäure enthält. Chlornatrium gibt dem Wasser einen salzigen Geschmack. Magnesium in größerer Menge macht das Wasser bitter schmeckend.

Es ist ferner festzustellen, ob das Wasser klar oder getrübt ist, was zweckmäßig auch sofort an Ort und Stelle geschieht. Die Trübungen können sowohl durch Kalk-, Aluminium- oder Eisengehalt als auch durch Vorhandensein mechanischer Verunreinigungen sowie organischer Substanz hervorgerufen sein.

Wichtig ist auch die sofortige Untersuchung daraufhin, wie das Wasser reagiert, was am besten mit empfindlichem Lackmuspapier geschieht.

Die qualitative Untersuchung des Wassers.

Durch dieselbe wird bezweckt, festzustellen, welche Stoffe überhaupt in einem zu untersuchenden Wasser in Lösung sind. Die Untersuchung erfordert eine vielseitige Einzelbestimmung der einzelnen Stoffe.

Das Vorhandensein von Kohlensäure, welche sowohl frei als auch gebunden an die kohlensauren Kalk- und Magnesiaverbindungen im Wasser vorkommen kann, stellt man fest, indem man frisch entnommenes Wasser im Verhältnis 1:1 mit gesättigter Kalklösung versetzt, die betreffende Flasche gut abschließt und stehen läßt. An dem sich nach einiger Zeit bildenden Niederschlag von kohlensaurem Kalk, welcher sich bei Behandlung mit Salzsäure durch Aufbrausen kenntlich macht, zeigt sich das Vorhandensein von Kohlensäure.

Die im Wasser enthaltene freie Kohlensäure kann man nachweisen, indem man etwa 50 ccm des Wassers mit Rosolsäurelösung versetzt, nachdem man vorher das Wasser mit Kalilauge bis zur Rötung behandelt hat. Bei Vorhandensein freier Kohlensäure wird durch den Zusatz von Rosolsäure die durch Kalilauge rot gefärbt gewesene Flüssigkeit wieder farblos oder gelb.

Sehr wichtig ist die Feststellung des Vorhandenseins von Calzium und Magnesia im Wasser. Zu diesem Zwecke versetzt man das zu untersuchende Wasser mit Ammoniakflüssigkeit, bis eine Trübung oder Ausfällung erfolgt. Man fügt dann tropfenweise Ammoniumchloridlösung hinzu, bis die Trübung wieder verschwunden ist. Der nunmehr klaren Flüssigkeit fügt man einige Tropfen Ammoniumoxalatlösung zu. Bei einer neuerlichen Trübung oder Fällung kann man dann sicher auf das Vorhandensein von Calziumverbindungen schließen. Der entstandene Niederschlag löst sich in Salzsäure nicht, dagegen in Essigsäure. Hat man durch den Zusatz von Ammonoxalatlösung alles Calzium gefällt, dann kann man nach erfolgter Filtration auch eventuell vorhandene Magnesiaverbindungen nachweisen. Hierzu versetzt man die

Flüssigkeit mit etwas Natriumphosphatlösung und fügt Ammoniaklösung hinzu. Bildet sich dann ein kristallinischer Niederschlag, so ist das Vorhandensein von Magnesia erwiesen.

Der Nachweis von Schwefelsäure, welche, ebenso wie die Kohlensäure, an Calzium und Magnesia, vorwiegend jedoch an Calzium (Gips) gebunden ist, geschieht in der Weise, daß man, nachdem das zu untersuchende Wasser mit einigen Tropfen Salzsäure angesäuert ist, Baryumchlorid zusetzt; hierdurch erzielt man eine weiße Trübung oder Niederschlag, der in Säuren unlöslich ist.

Das Vorhandensein von Chlor im Wasser wird in der Weise nachgewiesen, daß man ca. 10 ccm des Wassers mit einigen Tropfen Salpetersäure ansäuert und dann Silbernitratlösung zugibt. Bei Vorhandensein von Chlor entsteht dann ein weißer Niederschlag, welcher in Ammoniakflüssigkeit löslich ist und durch Salpetersäure wieder ausgeschieden werden kann.

Salpetrige Säure wird im Wasser in der Weise festgestellt, daß man eine wässerige Lösung Metaphenylendiamin demselben zusetzt. Entsteht dann eine bräunliche oder gelbliche Färbung, so ist der Nachweis von salpetriger Säure erbracht. Es gibt noch mehrere Methoden, salpetrige Säure nachzuweisen, welche wir hier nicht anführen wollen.

Der Nachweis von Salpetersäure gelingt, wenn man zu etwa 2 ccm Wasser etwas Bruzin oder Bruzinsulfat zufügt und danach etwa 4 ccm konzentrierte Schwefelsäure zusetzt. Bei Vorhandensein von Salpetersäure tritt rosarote bis rote Färbung ein.

Die geringen Mengen Ammoniak, welche manchmal im Wasser vorkommen, sind schwieriger nachzuweisen. Es geschieht der Nachweis durch

Jodquecksilberkalium in alkalischer Lösung. Man bezeichnet diese Lösung als Neßlersches Reagens. Für diese Untersuchung müssen vorher die Calzium-, Magnesia- und Eisenverbindungen entfernt sein.

Eine weitere wichtige Feststellung ist die des Eisens. Dieses scheidet sich bei längerem Stehen des Wassers in Gestalt bräunlicher Flocken aus. Es kann auch durch Behandlung frisch geschöpften Wassers mit Kaliumferryzyanid nach Ansäuern mit Salzsäure an der entstehenden Blaufärbung bzw. Niederschlag erkannt werden.

Schwefelwasserstoff im Wasser macht sich schon durch den Geruch erkennbar; man weist ihn nach, indem man 200 ccm des Wassers mit Natronlauge sowie Natriumkarbonatlösung versetzt. Den dadurch entstandenen Niederschlag läßt man absetzen und gießt die Flüssigkeit in ein anderes Gefäß ab. Behandelt man sie nun mit etwas alkalischer Bleilösung, so entsteht bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff eine gelbe bis schwarzbraune Färbung.

Die Bestimmung der Phosphorsäure kann in der Weise geschehen, daß man etwa 100 ccm des Wassers mit Salpetersäure stark ansäuert und stark eindampft. Der Rückstand wird dann einige Zeit über 100° erhitzt und dann erkalten lassen. Nachdem derselbe in 5 ccm Salpetersäure gelöst ist, wird er mit 10 ccm des Wassers erhitzt und filtriert, hierauf mit 5 ccm Ammoniummolybdänat versetzt. Tritt eine Gelbfärbung oder gelber Niederschlag ein, dann ist das Vorhandensein von Phosphorsäure erwiesen.

Vorhandene organische Substanz weist man am besten durch Eindampfen des Wassers nach. Genaueres ergibt erst die quantitative Bestimmung.

Die quantitative Untersuchung des Wassers.

Nachdem wir an Hand des Vorhergegangenen gezeigt haben, wie man die im Wasser vorkommenden Stoffe nachweist, gehen wir jetzt zur Bestimmung der Mengen über, in welchen die einzelnen Stoffe im Wasser vorkommen.

Wir beschränken uns dabei auf die für den Konstrukteur von Wasserreinigungsanlagen wichtigsten Untersuchungen. Die genaue quantitative Bestimmung muß in jedem Falle dem Chemiker vorbehalten bleiben, da zur richtigen Durchführung derselben Erfahrung und Übung gehört, wie sie nur der Chemiker von Beruf hat.

Die wichtigste Bestimmung ist die der Härte des Wassers.

Unter „Härte“ des Wassers versteht man seinen Gehalt an kohlensauren und schwefelsauren Kalk- und Magnesiasalzen und mißt dieselben nach Graden.

Die Einheit für diese Gradeinteilung ist in den verschiedenen Ländern verschieden.

In Deutschland verstehen wir unter einem Härtegrad das Vorhandensein von 1 Teil Kalk (CaO) in 100 000 Teilen Wasser oder das Vorhandensein von 0,01 g Kalk in 1 l Wasser.

In Frankreich entspricht einem Härtegrad 1 Teil kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) in 100 000 Teilen Wasser.

Schließlich in England versteht man unter einem Härtegrad 1 Teil kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) in 70 000 Teilen Wasser.

Für die Umrechnung der einzelnen Härtegrade kann man sich merken, daß folgende Beziehungen bestehen:

1,0 deutscher Härtegrad = 1,25 engl. = 1,79 französ.
0,8 „ „ = 1,0 „ = 1,43 „
0,56 „ „ = 0,7 „ = 1,0 „

Außerdem diene für die Umrechnung deutscher Härtegrade in englische und französische die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 5.

Deutschland	England	Frankreich	Deutschland	England	Frankreich
Härtegrade			Härtegrade		
1	1,25	1,79	12	15,0	21,48
2	2,5	3,58	14	17,5	25,05
3	3,75	5,37	16	20,0	28,64
4	5,0	7,16	18	22,5	32,22
5	6,25	8,95	20	25,0	35,8
6	7,5	10,74	22	27,5	39,38
7	8,75	12,53	24	30,0	42,96
8	10,0	14,32	26	32,5	46,54
9	11,25	16,11	28	35,0	50,12
10	12,5	17,90	30	37,5	53,70

Zur Bestimmung der Größe der Härte gehört aber nicht nur die Kenntnis der Kalkmenge, welche im Wasser gelöst ist, sondern auch die Kenntnis der gelösten Magnesiamenge sowie die Menge der anderen gelösten Mineralsalze. Die durch diese letzteren entstehende Härte ist zur gefundenen Kalkhärte zuzuaddieren. Dieses Addieren geht jedoch nicht ohne weiteres, da Magnesia und die anderen im Wasser gefundenen Mineralien andere Molekulargewichte als der Kalk haben. Es müssen daher die gefundenen Mengen anderer Mineralien erst in das richtige Verhältnis zum Molekulargewicht des Kalkes gebracht werden. Hierzu muß man natürlich die Molekulargewichte kennen.

Wir geben in nachfolgender Tabelle die für Umrechnung erforderlichen Werte, und zwar auch gleich für einige andere Stoffe, welche im Laufe der weiteren Erörterungen vorkommen werden.

Tabelle 6.

Name der Stoffe	Chemische Bezeichnung	Atom- bzw. Molekulargewicht	1 Kalkgrad entspricht in Gramm
Kalk	CaO	28	1,0 CaO
Magnesia	MgO	20	0,714 MgO
Kohlensäure . . .	CO_2	22	0,786 CO_2
Schwefelsäure . .	SO_3	40	1,428 SO_3
Kohlensaurer Kalk	$CaCO_3$	50	1,79 $CaCO_3$
Doppeltkohlensaurer Kalk . .	$CaH_2(CO_3)_2$	81	2,89 $CaH_2(CO_3)_2$
Gips	$CaSO_4$	68	2,43 $CaSO_4$
Schwefelsaure Magnesia	$MgSO_4$	60	2,14 $MgSO_4$
Kohlensaure Magnesia	$MgCO_3$	42	1,50 $MgCO_3$
Doppeltkohlensaure Magnesia . . .	$MgH_2(CO_3)_2$	73	2,61 $MgH_2(CO_3)_2$
Eisenvitriol . . .	$FeSO_4 + 7\,aq$	139	4,96 $FeSO_4 + 7\,aq$
Ätznatron	$NaOH$	40	1,43 $NaOH$
100%ige Soda . .	Na_2CO_3	53	1,89 Na_2CO_3
Natriumbisulphat .	$NaHSO_4$	120	4,28 $NaHSO_4$
Chlor	Cl	17,75	0,634 Cl

Die Härte eines Wassers bezeichnet man als Gesamthärte. Dieselbe stellt sich als die Summe des Gehaltes an Kalk (CaO) und der auf CaO umgerechneten Menge der anderen Mineralien, vorzugsweise Magnesia (MgO) und Chlor (Cl), dar.

Die Umrechnung geschieht beispielsweise für Magnesia nach dem Verhältnis seines Atomgewichtes (20) zum Atomgewicht des Kalkes (28) $\frac{20}{28} = 0{,}714$.

Die Gesamthärte eines Wassers kann nun in zwei vollkommen verschieden sich äußernde Härteerscheinungen geschieden werden, und zwar in eine solche Härte, die schon durch Kochen beseitigt werden kann, und in eine solche, die erst durch chemische Behandlung beseitigt werden muß. Der diesen Erscheinungen Rechnung tragende Vorgang hängt mit dem Verhalten der Kohlensäure zusammen. Es kommen Calzium und Magnesia meist als doppeltkohlensaure Verbindungen ($CaH_2[CO_3]_2$ und $MgH_2[CO_3]_2$), als sogenannte Bikarbonate im Wasser gelöst vor. Durch Kochen wird nun ein Teil der Kohlensäure frei, und Calzium und Magnesia fallen als einfachkohlensaure Verbindungen ($CaCO_3$ und $MgCO_3$) aus. Die schwefelsauren Salze sowie Salpeter- und Chlorverbindungen bleiben jedoch zum großen Teil beim Kochen des Wassers in Lösung. Wir nennen die durch die beim Kochen sich ausscheidenden Salze gebildete Härte die vorübergehende oder temporäre Härte des Wassers im Gegensatz zu der durch die in Lösung bleibenden schwefelsauren Salze sowie Salpeter- und Chlorverbindungen hervorgerufenen Härte, welche wir als bleibende Härte des Wassers bezeichnen.

Die Gesamthärte eines Wassers stellt sich also als die Summe seiner vorübergehenden und seiner bleibenden Härte dar.

Die eingehende Definition des Begriffes Härte war erforderlich erstens deshalb, weil sie in bezug auf die ganzen Maßnahmen zur Verbesserung des Wassers eine große Rolle spielt, und weil sie auch einen wichtigen Maßstab für die Beurteilung des Wassers bildet.

Nun die Bestimmung der Härte durch die quantitative chemische Untersuchung. Dieselbe geschieht

am einfachsten durch Zusatz von Seifenlösung. Der sich dabei abspielende chemische Vorgang ist der, daß durch Zusatz von Seifenlösung infolge der alkalischen Fettsäure der Seife die Mineralien als fettsaure Salze ausgeschieden werden. Sobald diese Ausscheidung vollständig erfolgt ist, wird bei weiterem Zusatz von Seifenlösung beim Schütteln der Flüssigkeit Schaum gebildet, der längere Zeit bestehen bleibt. Es ist bei dieser Untersuchung zu beachten, daß die Calziumverbindungen schneller eine Verbindung mit der Seifenlösung eingehen als die Magnesiaverbindungen. Bei magnesiareichen Wässern führt man daher die Versuche in der Weise durch, daß man dieselben vor der Behandlung mit Seifenlösung mit destilliertem Wasser verdünnt. Der sich bildende Schaum muß rein sein, ein weißes, dichtes Aussehen haben und sich mindestens fünf Minuten lang halten. Der durch das Vorhandensein größerer Mengen von Magnesia hervorgerufene Schaum hat ein schmutziges, käseartiges und klumpiges Aussehen. Stellt man ein derartiges Aussehen fest, dann hüte man sich, das Resultat als ein endgültiges zu betrachten, wiederhole vielmehr den Versuch mit verdünntem Wasser. Gewöhnlich kann man Wasser unter 20 ° Härte ohne weiteres durch Seifenlösung auf den Härtegehalt prüfen. Bei größerer Härte wird das Wasser vor der Prüfung verdünnt.

Die richtige Durchführung des Versuches geschieht in der Weise, daß man 40 ccm des Wassers in ein Meßgefäß einfüllt und nun aus einer in Kubikzentimeter eingeteilten Meßpipette Seifenlösung allmählich zugibt, indem man nach jedem Zusatz das Meßgefäß mit einem Glasstopfen verschließt und schüttelt. Zuerst können die Zusätze 3—5 ccm betragen, danach nur 0,5—1 ccm und schließlich nur

tropfenweise, bis ein kleiner Überschuß an Seifenlösung den dicken, weißen und längere Zeit haltbaren Schaum hervorruft. Die nebenstehende Abbildung zeigt die zur Anstellung der Untersuchung erforderliche Meßflasche sowie die Meßpipette.

Die zur Verwendung gelangende Seifenlösung besteht aus Kaliseife, welche in verdünntem Alkohol gelöst ist, und zwar muß das Lösungsverhältnis ein derartiges sein, daß 45 ccm der Seifenlösung in 100 ccm Chlorbariumlösung von 12 Härtegraden den oben beschriebenen Schaum hervorrufen. Die Chlorbariumlösung zur Prüfung der Seifenlösung wird hergestellt, indem man 0,523 g kristallinisches, trockenes Chlorbarium in 1 l destilliertem Wasser auflöst. 0,523 g Chlorbarium entsprechen nach der oben gegebenen Rechnungsweise 0,120 g Kalk, also 0,120 g auf 1 l = 12 deutschen Härtegraden. Man nennt die oben beschriebene Seifenlösung Clarksche Lösung und die ganze Untersuchungsmethode — die Clarksche.

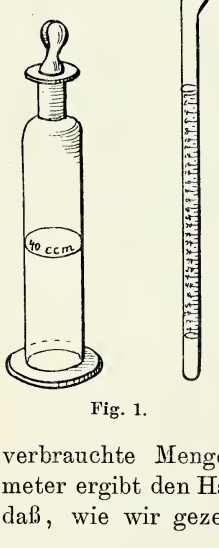


Fig. 1.

Die bis zur Schaumbildung verbrauchte Menge von Seifenlösung in Kubikzentimeter ergibt den Härtegrad unter der Berücksichtigung, daß, wie wir gezeigt haben, die Beziehung besteht:

45 ccm der Seifenlösung = 0,120 g Kalk auf 1 l Wasser
= 12 Härtegraden.

War man gezwungen, das Wasser vor der Untersuchung zu verdünnen, dann muß man die verbrauchte Seifenlösung mit dem Verdünnungsfaktor

multiplizieren. Hätte man beispielsweise 25 ccm des Wassers angewendet und auf 100 verdünnt, dann würde die gefundene Menge der Seifenlösung mit 4 zu multiplizieren sein.

Die nachfolgende Tabelle erleichtert die Berechnung der Härtegrade auf Grund des gefundenen Verbrauchs an Seifenlösung.

Tabelle 7.

Verbrauchte Seifenlösung ccm	Deutsche Härtegrade	Verbrauchte Seifenlösung ccm	Deutsche Härtegrade	Verbrauchte Seifenlösung ccm	Deutsche Härtegrade
3,4	0,5	18,9	4,5	33,3	8,5
5,4	1,0	20,8	5,0	35,0	9,0
7,4	1,5	22,6	5,5	36,7	9,5
9,4	2,0	24,4	6,0	38.4	10,0
11,3	2,5	26,2	6,5	40,1	10,5
13,2	3,0	28,0	7,0	41,8	11,0
15,1	3,5	29,8	7,5	43,3	11,5
17,0	4,0	31,6	8,0	45,0	12,0

Durch Zwischenschaltung findet man auch für die hier nicht verzeichneten Mengen Seifenlösung die entsprechenden Härtegrade.

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Gesamthärte ist das nach Professor Wartha.

Man versetzt 100 ccm des zu untersuchenden Wassers mit einigen Tropfen Alizarin als Indikator während des Kochens, fügt dann aus einer Meßpipette sogenannte $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure hinzu, bis die durch Alizarin hervorgerufene, zwiebelrote Färbung in Gelb umschlägt und auch bei weiterem Kochen sich nicht mehr verändert.

Die $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure ist eine Lösung von 0,00365 g Salzsäure (HCl) auf 1 ccm Wasser. Auf

das Molekulargewicht von Kalk umgerechnet, entspricht jedem Kubikzentimeter dieser Lösung 2,8 mg Kalk (CaO).

Multipliziert man daher die Anzahl der bis zum Farbenumschlag in Gelb verbrauchten Kubikzentimeter mit 2,8, dann erhält man die temporäre (vorübergehende) Härte in deutschen Härtegraden. Der chemische Vorgang bei dieser Untersuchung ist der, daß das Wasser durch den Zusatz von $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure neutralisiert wird, wodurch die Bikarbonate und Karbonate in Chloride übergeführt werden.

Nachdem man die temporäre Härte festgestellt hat, setzt man diesem neutralisierten Wasser eine Lösung zu, welche aus gleichen Teilen $\frac{1}{10}$ Normal-Ätznatronlauge (NaOH) und $\frac{1}{10}$ Normal-Sodalauge (Na_2CO_3) besteht. Hierdurch wird Kalk und Magnesia ausgefällt. Man gebe diese Lösung im Überschuß, damit die Ausfällung sicher vollständig erfolgt und nimmt zweckmäßig die doppelte Menge als zur Ausfällung erforderlich. Danach wird die Flüssigkeit einige Zeit gekocht, auf 200 ccm aufgefüllt, filtriert und nun durch Hinzufügen von $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure aus der Meßpipette zu 100 ccm des Filtrates unter Anwendung von Methylorange als Indikator das überschüssige Alkali bestimmt. Zur Umrechnung auf Kalkgrade werden die verbrauchten Kubikzentimeter der überschüssigen Alkalimenge auf 200 ccm bezogen, mit 5,6 multipliziert und ergeben die Gesamthärte in deutschen Härtegraden. Die bleibende Härte erhält man nunmehr leicht aus der Differenz von Gesamthärte und vorübergehender Härte.

Die zum Ausfällen von Kalk und Magnesia zugefügte $\frac{1}{10}$ Normal-Ätznatronlösung sowie $\frac{1}{10}$ Normal-Sodalauge brauchen nicht genau abgestimmt zu sein; nur muß festgestellt werden, wieviel Kubikzentimeter

$\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure die obige Lösung zur Neutralisation erfordert, und das geschieht in der Weise, daß man 7,5 g kristallisiertes Natriumkarbonat und 2,5 g Ätznatron in 1 l Wasser löst. 30 ccm dieser Lösung werden darauf mit 100 ccm destillierten Wassers etwa drei Minuten gekocht, dann abgekühlt und mit destilliertem Wasser auf 200 ccm aufgefüllt. Versetzt man nun 100 ccm dieser Lösung mit Methylorange als Indikator, setzt wiederum aus der Meßpipette $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure zu, bis die gelbe Farbe gerade in Rot umschlägt, und multipliziert die gefundenen Kubikzentimeter $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure mit 2, dann hat man die Anzahl Kubikzentimeter $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure, welche zur Neutralisierung der Lauge aus NaOH und Na_2CO_3 erforderlich ist.

Bei dieser Untersuchung muß außerordentlich sorgfältig vorgegangen werden, damit keine Ungenauigkeiten entstehen.

Sollte sich bei den Untersuchungen zeigen, daß die Gesamthärte geringer ist, als der temporären Härte entspricht, dann ist ein Sodagehalt des Wassers vorhanden.

Es soll bei der Wichtigkeit dieser Härtebestimmung im nachstehenden die Art ihrer Durchführung an einem Beispiel gezeigt werden.

Auf 100 ccm des zu untersuchenden Wassers werden 5 Tropfen Alizarinlösung als Indikator zugegeben und die Lösung gekocht. Während des Kochens wird $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure zugegeben. Es würden gebraucht 4,2 ccm bis zum dauernden Umschlag in Gelb. Folglich

$$4{,}2 \cdot 2{,}8 = 11{,}7^{\,0} \text{ vorübergehende Härte.}$$

Es wird darauf zugesetzt 15 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Natronlauge und 15 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Sodalauge. Diese

30 ccm erfordern, wie durch Kontrollversuch festgestellt wird, zur Neutralisation 31 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure. Nach dem Zusatz der Natronlauge (Natriumkarbonatlösung) wird ca. 5 Minuten lang gekocht, dann langsam abgekühlt und mit destilliertem Wasser auf 200 ccm aufgefüllt, sowie filtriert; 100 ccm des Filtrates werden darauf mit 2 Tropfen Methylorangelösung als Indikator versetzt und darauf $\frac{1}{10}$ Normal-Salzsäure bis zum Farbenumschlag in Rot zugesetzt. Es wurden 12,6 ccm gebraucht. So ergibt dies auf 200 ccm umgerechnet 25,2 ccm. Die zugefügte Lauge entsprach 31 ccm $\frac{1}{10}$ normal Salzsäure. Es verbleibt somit für die Berechnung des ausgefällten Kalkes und der Magnesia $31 - 25{,}2 = 5{,}8$ ccm, also $5{,}8 \cdot 2{,}8 = 16{,}24^0$ gesamte Härte.

Die bleibende Härte ist die Differenz aus Gesamthärte und vorübergehender Härte.

$$16{,}2 - 11{,}7 = 4{,}5^0 \text{ bleibende Härte.}$$

Zur Vervollständigung unserer Ausführungen über die Härte des Wassers gehört noch die Besprechung des Knöflerschen Verfahrens zur Bestimmung der gebundenen Kohlensäure, des Kalkes und der Magnesia. Als Färbemittel wird hier eine Mischung von Phenolphthalein und Methylorange angewandt. Phenolphthalein hat die Eigenschaft, in saurer Lösung farblos zu sein und in alkalischer Lösung rot zu färben, während Methylorange in saurer Lösung Rot und in neutraler und alkalischer Lösung Gelb gibt. Eine Mischung beider ergibt Farbenumschläge, welche stets durch Gelb gehen.

Nach diesem Verfahren werden 100 ccm des zu untersuchenden Wassers mit 1—2 Tropfen Phenolphthalein-Methylorangelösung versetzt. Durch Zusatz

von $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure bis zum Farbenumschlag in Orange (beginnende Rötung) bestimmt sich dann der Gehalt an Kohlensäure (CO_2), indem die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure, mit der Äquivalenzzahl 5,6 multipliziert, den Kohlensäuregehalt in Kalkgraden ergeben. Durch längeres Kochen wird dann die Kohlensäure ausgeschieden, was sich durch Farbenumschlag in Gelb bemerkbar macht. Man gibt jetzt $\frac{2}{10}$ Normal-Ätznatronlösung hinzu, bis die Flüssigkeit sich wieder alkalisch zeigt. Genau braucht der Zusatz nicht bemessen zu sein; man gibt zweckmäßig einen kleinen Überschuß, der jedoch nicht so groß sein darf, daß der Kalk herausfällt. Nachdem man die Flüssigkeit filtriert hat, wird abermals $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure zugesetzt, bis Farbenumschlag in Rot beginnt. Die Anzahl der zugesetzten Kubikzentimeter $\frac{2}{10}$ Normal-Ätznatron, vermindert um die Anzahl der zugesetzten Kubikzentimeter $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure, mit der Äquivalenzzahl 5,6 multipliziert, ergibt den Gehalt an Magnesia (MgO) in Kalkgraden. Die Flüssigkeit wird nun wiederum gekocht und während des Kochens $\frac{2}{10}$ Normal-Sodalösung zugesetzt, bis Färbung in Rot eintritt. Bei weiterem Kochen fällt der Kalk heraus. Sofern während des Kochens ein Farbenumschlag in Gelb eintritt, ist weiterhin $\frac{2}{10}$ Normal-Sodalösung zuzusetzen, bis wieder Rotfärbung eintritt.

Nach Filtration darf eine entnommene kleine Menge der Flüssigkeit mit oxalsaurem Ammoniak behandelt keinen Niederschlag geben. Die filtrierte Flüssigkeit wird darauf mit $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure behandelt, bis Rotfärbung erfolgt. Die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter $\frac{2}{10}$ Normal-Soda, vermindert um die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter $\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure, mit der Äquivalenzzahl 5,6 mul-

tipliziert, ergibt dann den gesamten Gehalt an Kalk (CaO).

Addiert man den gefundenen Gehalt an Kalk zu der gefundenen Menge Magnesia in Kalkgraden, dann erhält man die Gesamthärte in Grad.

Bei diesem Verfahren muß die verwandte Ätznatronlösung eine alkoholische sein. Bei wässeriger Ätznatronlösung, welche die Eigenschaft hat, Kohlensäure aus der Luft anzusaugen, wird Soda ausgeschieden, wodurch bei Zusatz zum Wasser Kalk herausfällt. Bei alkoholischer Ätznatronlösung kann dagegen kein Soda ausgeschieden werden, weshalb diese allein für die Bestimmung des Magnesia-Gehaltes geeignet ist.

Die für dieses Verfahren verwandten $\frac{2}{10}$ Normal-Lösungen müssen die folgende Zusammensetzung haben:

$\frac{2}{10}$ Normal-Salzsäure: 7,3 g Salzsäure (HCl) auf 1 l Wasser = 0,0073 g im Kubikzentimeter;
$\frac{2}{10}$ Normal-Sodalösung: 10,6 g Soda (Na_2CO_3) auf 1 l Wasser = 0,0106 g im Kubikzentimeter;
$\frac{2}{10}$ Normal-Ätznatron: 8,0 g Ätznatron (NaOH) auf 1 l Wasser = 0,008 g im Kubikzentimeter.

Von den anderen im Wasser gelöst enthaltenen Stoffen ist noch von besonderer Wichtigkeit die Bestimmung des Chlors und des Eisens, welche im nachstehenden dargelegt werden soll.

Bestimmung des Chlors.

Erforderliche Lösungen und Chemikalien:

$\frac{1}{10}$ Normal-Silberlösung: 17 g Silbernitrat ($AgNO_3$) auf 1 l Wasser = 0,017 g im Kubikzentimeter;
Kaliumchromatlösung: 1 Teil chlorfreies, gelbes Kaliumchromat auf 19 Teile Wasser.

Man nimmt 100 ccm des zu untersuchenden Wassers in eine Abdampfschale, versetzt mit 3—5 Tropfen Kaliumchromatlösung und titriert mit $\frac{1}{10}$ Normal-Silberlösung, bis bleibende, schwache Rötung eintritt. 1 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Silberlösung entspricht 3,545 mg Chlor. Multipliziert man also die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter $\frac{1}{10}$ Normal-Silberlösung mit 3,545 und mit 10, dann erhält man den Chlorgehalt des Wassers in 1 l.

Bei sehr geringem Chlorgehalt dampft man eine Menge 300—400 ccm des Wassers auf 100 ccm ein und nimmt mit dem eingedampften Wasser obige Untersuchung vor.

Bestimmung des Eisens.

Erforderliche Lösungen und Chemikalien:

Eisenchloridlösung: 0,1 g Eisen (Fe) auf 1 l Wasser = 0,1 mg im Kubikzentimeter.

Eisenfreie Salzsäure: 250 g Salzsäure (HCl) auf 1 l Wasser = 0,25 g im Kubikzentimeter.

Ammonium-Rhodanitlösung: 1 Teil Ammoniumrhodanit auf 9 Teile Wasser.

Kaliumchlorat.

Es werden 300—500 ccm des zu untersuchenden Wassers nach Zusatz von 10—20 Tropfen Salzsäure und einigen Körnchen Kaliumchlorat auf ca. 50 ccm eingedampft und mit destilliertem Wasser auf 100 ccm aufgefüllt. Nach Abkühlen fügt man 10 Tropfen Salzsäure und 1 ccm Ammonium-Rhodanitlösung hinzu. Es entsteht dann bei Eisengehalt eine mehr oder weniger intensive gelbrote Färbung des Wassers. Die Größe des Eisengehaltes wird an der Farbe des wie oben behandelten Wassers erkannt, indem man die erhaltene Flüssigkeit mit Flüssigkeiten von be-

kanntem Eisengehalt, die in derselben Weise wie oben durch Ammonium-Rhodanitlösung gefärbt sind, vergleicht. Die eisenhaltigen Vergleichsflüssigkeiten stellt man aus der Eisenchloridlösung von bekannter Zusammensetzung her, indem man 1, 2, 3, 4 usw. ccm Eisenchloridlösung unter Zusatz von 10 Tropfen Salzsäure und 1 ccm Ammonium-Rhodanitlösung auf 100 ccm mit destilliertem Wasser auffüllt. Der Vergleich wird in sogenannten Hehnerschen Zylindern von gleichem Durchmesser und gleicher Höhe, in welche die Flüssigkeiten zu gleichen Mengen hineingebracht werden, vorgenommen.

Weiterhin sind noch die folgenden Bestimmungen von einiger Wichtigkeit:

Bestimmung der Schwefelsäure.

Erforderliche Lösungen und Chemikalien:

Baryumchloridlösung in starker Verdünnung.
Salzsäure.

Man nimmt 200—300 ccm des zu untersuchenden Wassers und säuert mit Salzsäure etwas an. Darauf siedet man die Flüssigkeit und setzt unter Umrühren tropfenweise heiße Baryumchloridlösung zu, bis Niederschlag erfolgt. Nachdem sich der Niederschlag gesetzt hat, gießt man die Flüssigkeit durch ein Filter ab und wäscht den restierenden Niederschlag gut durch. Hierauf wird der Niederschlag getrocknet und längere Zeit erhitzt. Durch Abwiegen wird dann der Gehalt an Schwefelsäure bestimmt, indem 100 Teile Baryumsulfat ($BaSO_4$) 34,293 Teilen Schwefelsäure (SO_3) entsprechen. Man hat also die gefundene Menge Baryumsulfat mit 0,34293 zu multiplizieren, um den Gehalt an Schwefelsäure zu erhalten.

Bestimmung des Calziums.

Erforderliche Lösungen und Chemikalien:

Ammoniumchloridlösung: 1 Teil Ammoniumchlorid auf 9 Teile Wasser.

Ammoniaklösung: 10 prozentig mit 0,96 spezifischem Gewicht.

Essigsäure: 30 prozentig, 1,041 spezifisches Gewicht.

Oxalsäurelösung: 1 Teil reine Oxalsäure auf 19 Teile Wasser.

Ammonkarbonatlösung: 1 Teil Ammoniumkarbonat mit 3 Teilen Wasser und 1 Teil Ammoniaklösung.

500 ccm des zu untersuchenden Wassers werden nach Ansäuern mit Salzsäure auf ca. 150 ccm eingedampft, dann Ammoniumchloridlösung zugefügt und wiederum zum Kochen gebracht. Hierauf wird Ammoniaklösung bis zur deutlichen alkalischen Wirkung zugesetzt und der Niederschlag abfiltriert und nachgewaschen.

Die abfiltrierte Flüssigkeit wird wiederum gekocht, mit Essigsäure angesäuert und mit einem Überschuß von Oxalsäurelösung behandelt. Hierdurch bildet sich ein Niederschlag von Calziumoxalat, den man nach Erkalten der Flüssigkeit abfiltriert und gut auswäscht. Die Flüssigkeit selbst kann man für Magnesiumbestimmung aufheben, nachdem man sie mit destilliertem Wasser auf 250 ccm aufgefüllt hat. Den Niederschlag tut man mit dem Filter in eine Platinschale und glüht ihn längere Zeit. Man läßt ihn dann erkalten und feuchtet ihn mit Ammoniumkarbonatlösung etwas an, worauf man ihn trocknet und wiegt.

Diesen letzten Prozeß wiederholt man öfters, bis das Gewicht konstant wird.

Das erhaltene Produkt ist Calziumkarbonat, von welchem 100 Teile 40 Teilen Ca oder 56 Teilen CaO entsprechen.

Bestimmung der Magnesia.

Erforderliche Lösungen und Chemikalien:

Natrium-Phosphatlösung: 1 Teil Natriumphosphat in 19 Teilen Wasser.

Ammoniaklösung: 10 prozentig mit 0,96 spezifischem Gewicht.

Salpetersäure: 25 prozentig mit 1,153 spezifischem Gewicht.

Silbernitratlösung: 1 Teil Silbernitrat auf 19 Teile Wasser.

Zur Bestimmung der Magnesia verwendet man die bei der Calziumbestimmung zurückgebliebene Flüssigkeit, deren Menge 250 ccm betrug und dampft diese auf ca. 50 ccm ein. Hierzu fügt man ca. 40 ccm Ammoniaklösung und bis zum geringen Überschuß Natriumphosphatlösung. Nach energischem Umschütteln überläßt man die Flüssigkeit gut abgedeckt etwa 24 Stunden lang sich selbst. Hierbei scheidet sich ein Niederschlag aus, den man von der Flüssigkeit abfiltriert und mit verdünnter Ammoniaklösung gut wäscht. Die Vollkommenheit des Waschens ist dann vorhanden, wenn eine kleine mit Salpetersäure angesäuerte Probe durch Silbernitratlösung keine Trübung zeigt.

Der Niederschlag wird darauf in einen Porzellantiegel getan und die Asche des Filters ebenfalls, nachdem dieses getrocknet und im Platintiegel ver-

brannt ist. Es erfolgt nunmehr eine starke öfters wiederholte Erhitzung so lange, bis das Gewicht konstant ist. Die gewogene Menge des Niederschlages ergibt dann den Gehalt an Magnesia, indem 100 Teile des Niederschlages 21,875 Teilen Mg und 36,243 Teilen MgO entsprechen.

Betriebskontrolle von Wasserverbesserungsanlagen.

Häufig ist auch ein Bedürfnis vorhanden, den Betrieb von Wasserverbesserungsanlagen durch periodische Untersuchung des Roh- bzw. Reinwassers zu kontrollieren. Da man naturgemäß für solche Kontrolle nicht ständig einen erfahrenen Chemiker beschäftigen kann, kommen hierfür nur solche Vorrichtungen in Frage, die auch mit Sicherheit vom gewöhnlichen Arbeiter in Gebrauch genommen werden können. Besonders wichtig ist bei Wasserverbesserungsanlagen die ständige Kontrolle der Chemikalienzusätze. Bevor wir daher das Kapitel „Wasseruntersuchung“ schließen, wird es erforderlich sein, auch noch derartige Apparate für die Kontrolle des Reinigungsbetriebes hier zu besprechen.

Der bei aller Einfachheit wohl zweckmäßigste erscheint uns Ingenieur Morgenstern's Wasserprober „Securitas“ zu sein. Dieser Apparat enthält in einem Wandschränkchen alle zur Kontrolle des gereinigten Wassers erforderlichen Lösungen und Utensilien. Eine genaue Gebrauchsanweisung sowie Anleitung ist ihm beigegeben. Die Einrichtungen sind derart getroffen, daß von einem nur einigermaßen geschickten und sorgfältigen Arbeiter die Zusammensetzung des Wassers erkannt und bei fehlerhafter Zusammensetzung der Ursprung des Fehlers gefunden werden kann.

Die in dem Schränkchen untergebrachten Lösungen sind die folgenden:

A Phenolphthalein;
B titrierte Oxalsäure (zugleich zum Messen der Alkalinität und als Reagens auf Kalk);
C Natriumkarbonat;
D Natriumhydrat;
E Calziumchlorid.

Die Hauptsache bei der ganzen Einrichtung jedoch sind besondere Tabellen, welche allen möglichen Fällen Rechnung tragen und mit Leichtigkeit gestatten, Schlußfolgerungen bezüglich der Beschaffenheit des Wassers zu ziehen.

Fig. 2.

Außer den angeführten Lösungen und Chemikalien sind in dem Schränkchen noch folgende Gerätschaften enthalten: Ein emailliertes Blechgefäß zur Entnahme eines Vorrates des gereinigten Wassers, eine Flasche zur Aufnahme des nötigenfalls filtrierten Wassers, ein Paar Schüttelzylinder zur Anstellung der Reaktionen mit je einer Marke für die Probefüllung (50 ccm) und einer zweiten Marke (weiteren 10 ccm entsprechend) versehen, welche angibt, wieviel von den Reagenzien C, D, E der abgemessenen Probe jeweils zuzusetzen ist; ferner ein Paar Erlenmeyer-Kölbchen und Trichter nebst einer Schachtel Faltenfilter zum Abfiltrieren der bei den Reaktionen entstandenen Niederschläge. Ein kleineres Aräometer ist zur Feststellung der Konzentration des Kesselwassers bestimmt und trägt eine Marke, die das äußerste zulässige

Maximum angibt und somit den Zeitpunkt für die Notwendigkeit des Kesselabblasens kennzeichnet. Ferner ist dem Prober ein Kontrollbuch zur Eintragung des jeweiligen Ergebnisses der Wasserprüfung beigegeben.

Über das Prüfungsverfahren selbst soll nachfolgend das Erforderliche gesagt werden. Es setzt vor allen Dingen voraus, daß

1. die freie Kohlensäure an Kalk zu binden ist gemäß dem Vorgang:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O;$$

2. die Bikarbonate des Kalkes auszuscheiden sind:
   a) durch Ätzkalk gemäß dem Vorgang:
   $$CaCO_3 \cdot CO_2 + Ca(OH)_2 = 2\,CaCO_3 + H_2O$$
   oder zugleich mit einer gleichwertigen Menge der schwefelsauren Kalkverbindungen;
   b) durch Ätznatron gemäß dem Vorgang:
   $$CaCO_3 \cdot CO_2 + CaSO_4 + 2\,NaOH = 2\,CaCO_3 + Na_2SO_4 + H_2O;$$
3. die Bikarbonate der Magnesia auszuscheiden sind, und zwar entweder
   a) durch Ätzkalk gemäß dem Vorgang:
   $$MgCO_3 \cdot CO_2 + 2\,Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + 2\,CaCO_3 + H_2O,$$
   oder zugleich mit zwei Äquivalenten der schwefelsauren Kalkverbindungen;
   b) durch Ätznatron gemäß dem Vorgang:
   $$MgCO_3 \cdot CO_2 + 2\,CaSO_4 + 4\,NaOH = Mg(OH)_2 + 2\,CaCO_3 + 2\,Na_2SO_4 + H_2O;$$
4. die schwefelsauren Kalkverbindungen auszuscheiden sind, entweder
   a) durch Natriumkarbonat gemäß dem Vorgang:
   $$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2SO_4,$$

oder zugleich mit einer entsprechenden Menge der Bikarbonate des Kalkes und der Magnesia;

b) durch Ätznatron gemäß den Vorgängen unter 2 b und 3 b;

5. die schwefelsauren Magnesiaverbindungen unter allen Umständen auszuscheiden sind durch Ätznatron gemäß dem Vorgang:

$$MgCl_2 + 2\,NaOH = Mg(OH)_2 + 2\,NaCl.$$

Das Ätznatron kann in diesem Falle auch aus Ätzkalk und Soda erst gebildet werden gemäß dem Vorgang:

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\,NaOH + CaCO_3.$$

Die genaue Erörterung der chemischen Vorgänge wird späterhin in dem Kapitel „Chemische Aufbereitung des Wassers“ noch vorgenommen werden.

Hier mögen einige Beispiele der Morgensternschen Untersuchungsmethode angeführt und dabei eine Behandlung des Wassers mit Kalk und kalzinierter Soda vorausgesetzt werden.

Es können bei dieser Behandlung in bezug auf die angewandten Mengen der Fällmittel folgende Fälle eintreten:

Es wurde zur Aufbereitung des Wassers verwandt:

1. Kalk und Soda im richtigen Mengenverhältnis;
2. die richtige Menge Kalk, aber zu wenig Soda;
3. „ „ „ „ „ „ viel „
4. „ „ „ Soda, „ „ wenig Kalk;
5. „ „ „ „ „ „ viel „
6. zu wenig Kalk und zu viel Soda;
7. „ viel „ „ „ wenig „
8. „ wenig „ „ „ „ „
9. „ viel „ „ „ viel „

Im Falle 4 sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden, welche bei der Wasserprüfung in verschiedener Weise in Erscheinung treten können, nämlich:

a) von der Soda wurde genau die richtige Menge,
b) von der Soda wurde ein ganz geringer unschädlicher Überschuß angewandt;

ebenso im Falle 9 drei Möglichkeiten, nämlich:

a) Kalk und Soda wurden im gleichen Verhältnis zu viel angewandt;
b) Kalk war in größerem Überschuß verwandt als Soda;
c) Soda war in größerem Überschuß verwandt als Kalk,

von welchen a und c einerseits, b andererseits in bezug auf die Reaktionen zu trennen sind.

Es ergeben sich somit für die Prüfung zwölf Einzelfälle, die bei der Gliederung des Untersuchungsganges getrennt werden mußten. Ähnlich verhält es sich bei der Untersuchung bei Aufbereitung des Wassers mit Kalk und kaustischer Soda sowie bei Anwendung von Kalk allein oder kalzinierter Soda allein oder kaustischer Soda allein.

All diese Untersuchungsergebnisse sind in Tabellen zusammengestellt, die zwar auf den ersten Blick ziemlich kompliziert erscheinen, aber in jedem einzelnen Falle sich leicht handhaben lassen. Beispielsweise in der nachfolgend beschriebenen Weise: Nach Entnahme der nötigenfalls filtrierten Probe füllt man aus der Vorratsflasche einen Schüttelzylinder mit dem zu prüfenden Wasser bis zur unteren Marke, setzt aus dem Tropfglas A drei Tropfen Phenolphthaleinlösung zu, mischt und beobachtet, ob eine Rötung eintritt oder nicht. Bei eintretender Rötung wird

durch Zutropfen der Oxalsäurelösung B unter Mischen festgestellt, wie viele Tropfen zur Aufhebung der alkalischen Reaktion (d. h. bis zur Entfärbung) erforderlich sind, und je nach dem Ausfall eine neue oder eventuell die gleiche Probe mit dem einen oder dem anderen Reagens vermischt, wobei die obere Marke das Maß der zuzusetzenden Menge angibt und nach wiederholtem Schütteln der Flüssigkeit das Entstehen oder Ausbleiben eines Niederschlages (Trübung) zu beobachten ist. In gewissen Fällen wird von einem Niederschlag abfiltriert und das Filtrat mit einem zweiten Reagens geprüft. Ähnlich, nur ohne Zutropfen der Säure B, verläuft die weitere Prüfung im Fall des Ausbleibens der Rotfärbung. Der größere oder geringere Verbrauch von Säure zur Aufhebung der Rotfärbung, das Entstehen oder Ausbleiben von Niederschlägen sind die Momente, welche die Grundlage für die Diagnose abgeben.

Zum Beispiel betrachten wir Fall 1. Kalk und Soda waren richtig bemessen. Das gereinigte Wasser enthält sodann nur Spuren überschüssiger Soda: die abgemessene Probe mit Phenolphthalein (drei Tropfen Lösung aus Tropfglas A) versetzt, färbt sich daher schwach rot, wird jedoch durch eine Spur Säure (wenige Tropfen Oxalsäurelösung aus Tropfglas B) entfärbt. Kalk und Magnesia sind in dem normal gereinigten Wasser weder als Bikarbonate noch in anderer Form, außer in Spuren, vorhanden. Eine Probe des Wassers wird daher weder mit Natriumkarbonatlösung C noch mit Natriumhydratlösung D einen Niederschlag geben, welcher aus Calzium- und Magnesiumkarbonat bzw. Magnesiumhydrat bestehen würde. Nach den Morgensternschen Tabellen kommt Tabelle I, Pos. A I 1a in Betracht.

Die Verbesserung des Wassers.

Nachdem auf Grund der im vorigen gegebenen Untersuchungsmethoden gezeigt ist, wie die Zusammensetzung des Wassers erkannt wird, kommt der zweite Teil der Aufgabe, die eigentliche Verbesserung des Wassers, die sich sowohl nach dem Gebrauchszweck als auch nach der Zusammensetzung sehr verschiedenartig gestalten kann. Die technischen Hilfsmittel zur Verbesserung des Wassers sind naturgemäß ebenfalls sehr verschiedenartig, und zwar können wir da einige Hauptmethoden unterscheiden, die entweder einzeln oder in Kombination miteinander angewandt werden, und zwar wie folgt:

1. Die mechanische Klärung des Wassers hat den Zweck, mechanisch beigemengte Stoffe auszuscheiden.
2. Die Filterung des Wassers hat den Zweck, gesundheitsschädliche Bakterien zurückzuhalten sowie feinere mechanische Beimengungen zu beseitigen. Zum Zurückhalten der Bakterien muß die Filterung sehr vorsichtig und langsam geschehen, während das Zurückhalten der mechanischen Beimengungen nicht so große Sorgfalt erfordert. Demgemäß werden wir zu unterscheiden haben:
   a) Langsamfiltration für Beseitigung der Bakterien,
   b) Schnellfiltration.
3. Die chemische Behandlung des Wassers hat den Zweck, gewisse für bestimmte Verwendungszwecke nachteilige chemische Verbindungen aus dem Wasser auszuscheiden.

Einige wichtige Kombinationen der drei genannten Behandlungsmethoden sind:

1. mechanische Klärung und darauf folgende Filterung;
2. chemische Behandlung, mechanische Klärung und Filterung;
3. chemische Behandlung und darauf folgende mechanische Klärung.

Im nachfolgenden sollen die einzelnen Vorrichtungen dieser Verbesserungsmethoden eingehende Besprechung finden.

Die mechanische Klärung des Wassers.

Überall da, wo das Wasser durch mechanische Beimengungen verunreinigt ist, muß es geklärt werden. Die Natur dieser Beimengungen ist eine verschiedene. Sie können spezifisch leichter, ebenso schwer, oder schwerer als Wasser sein, und man unterscheidet danach Schwimmstoffe, Schwebestoffe und Sinkstoffe. Die leichteren Stoffe verursachen eine Trübung des Wassers; die schwereren fallen als Schlamm aus; die Schwimm- und Schwebestoffe können durch längeren Aufenthalt im Wasser ebenfalls zu Sinkstoffen werden.

Auch bei der chemischen Behandlung des Wassers entstehen Ausscheidungen der gelösten Stoffe, die denselben Charakter wie die mechanischen Beimengungen zeigen und somit ebenfalls nach ihrem größeren oder kleineren spezifischen Gewicht unterschieden werden können. In bezug auf ihre Entstehung unterscheiden sich aber die chemischen Ausfällungen wesentlich von den mechanischen Beimengungen. Während letztere fertige Gebilde im

Wasser darstellen, sind erstere eine geraume Zeit nach der chemischen Behandlung des Wassers noch im Entstehen; mit anderen Worten: die chemische Einwirkung auf die im Wasser in Lösung befindlichen Substanzen geschieht mit einer mehr oder weniger großen Langsamkeit. Manchmal dauert die vollkommene Ausfällung der unlöslichen Stoffe nur eine halbe Stunde, manchmal kann sie drei und mehr Stunden betragen.

Man scheidet die Beimengungen durch Klärung des Wassers aus, was in großen, eigens dazu konstruierten Behältern geschieht. Zur Beseitigung der ganz leichten Beimengungen, welche nicht zu Boden sinken, sondern dem Wasser nur eine Trübung geben, verbindet man den Klärbehälter noch mit einem Filter.

Wenn wir im nachfolgenden die gebräuchlichen Konstruktionen der Klärbehälter einer Besprechung unterziehen wollen, dann müssen wir drei Ausführungsarten unterscheiden:

1. Klärung im ruhenden Wasser,
2. Klärung im langsam aufwärts fließenden Wasserstrom und
3. Klärung im ab- und aufwärts fließenden Wasserstrom.

Ferner kann ganz allgemein gesagt werden, daß jede Klärvorrichtung aus einem oder mehreren Klärbehältern, einer oder mehreren Schlammsammelstellen sowie einem oder mehreren Schlammablässen bestehen muß.

Die Form des einfachsten Klärbehälters geht aus der Fig. 3 hervor. Durch eine Rohrleitung *a* wird der Behälter mit dem zu klärenden Wasser vollgefüllt und dasselbe darauf längere Zeit sich selbst

überlassen. Die mechanischen Beimengungen sinken dann allmählich zu Boden und lagern sich an der Schlammsammelstelle *b* ab. An dieser befindet sich ein Hahn *c*, durch welchen der Schlamm von Zeit zu Zeit abgelassen wird. Die Klärung vollzieht sich in der Weise, daß zunächst die oberen Schichten des Wassers, dann immer weitere Schichten klar werden. Hierbei müssen beispielsweise die ganz oben am Wasserspiegel befindlichen Sinkstoffe den ganzen Weg *x* durch den Klärraum des Gefäßes zurücklegen. Sobald die Klärung eine vollständige ist, wird der Schlamm durch Öffnen des Hahnes *c* vorsichtig entfernt und das geklärte Wasser vorsichtig aus dem Klärbehälter entnommen. Hat man das geklärte Wasser aus dem Behälter entnommen, dann kann man neues Wasser zur Klärung einfüllen. Wir sehen, eine sehr umständliche Vorrichtung. Offenbar erfordert diese Klärung trotz großer Behälter sehr viel Zeit, wenn sie eine ordentliche sein soll. An der langsamen Klärung ist hauptsächlich der lange Weg *x* schuld, welchen die einzelnen Schlammteilchen zurücklegen müssen, was bei der geringen Sinkgeschwindigkeit der Schlammteilchen natürlicherweise mit sehr viel Zeitaufwand verbunden ist. Ein anderer Nachteil ist der, daß der Betrieb kein ununterbrochener ist, sondern daß er zum Herausnehmen des geklärten Wassers und zum Wieder-

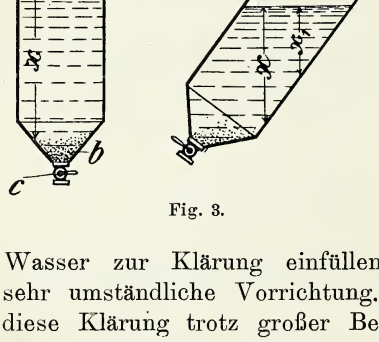


Fig. 3.

einfüllen des Rohwassers unterbrochen werden muß. Diesem letzteren Übelstande läßt sich Rechnung tragen dadurch, daß man statt des einen Behälters deren zwei aufstellt und dieselben in der Weise abwechselnd betreibt, daß immer einer für die Klärung in Betrieb ist, während der andere zur Entnahme des gereinigten Wassers zur Verfügung steht. Allerdings sind Anlagekosten und Platzbedarf eines derartigen Doppelbehälters verhältnismäßig hohe, und auch die Bedienung der Anlage erfordert Aufmerksamkeit und ist nicht billig.

Auch den Nachteil, den die lange Wegführung der Schlammteilchen auf die Zeitdauer der Klärung ausübt, hat man zu verkleinern gesucht, indem man diesen Weg x abkürzte. Wir sehen in Fig. 3 rechts den Behälter in schräge Lage gebracht und erkennen leicht, daß durch diese Maßnahme eine Abkürzung des Weges der Schlammteilchen von der Oberfläche zum Boden erreicht wird. Ferner werden infolge der schrägen Lage des Behälters die meisten Schlammteilchen auf die schräge Wandung fallen, nachdem sie den Weg x zurückgelegt haben. Auf der schrägen Fläche werden sie sich zu Massen zusammenfinden und infolge ihrer Schwere zur Schlammsammelstelle heruntergleiten. Aus diesem Verhalten der Schlammteilchen erkennt man, daß die zylindrische Form der Klärbehälter keine vorteilhafte ist, und daß es zweckmäßiger ist, die Form trichterförmig zu wählen, wie in Fig. 4 dargestellt. Um einen möglichst kurzen Weg der Schlammteilchen zur Behälter-

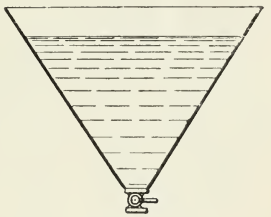


Fig. 4.

wandung zu erhalten und damit die Klärdauer abzukürzen, müßte man die Behälter niedrig bauen und dafür ihren Querschnitt entsprechend groß wählen. Dies läßt sich jedoch meist nicht ausführen, da dann der Platzbedarf ein unverhältnismäßig großer werden würde.

Will man den Weg der Schlammteilchen abkürzen, um eine kürzere Klärdauer zu erzielen, dann muß man andere Mittel und Wege finden, die diese Vorteile auch auf verhältnismäßig geringem Raume ergeben. Die anderen Hilfsmittel bestehen in dem Einbau von Zwischenwandungen, wie in Fig. 5 dargestellt, die man noch zweckmäßig schräg anordnet.

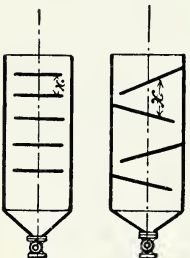


Fig. 5.

Wie schon bemerkt, beanspruchen die Klärbehälter für das Klären im ruhigen Wasser außerordentlich viel Platz; besonders da man, sofern kontinuierlich Wasser entnommen werden soll, mindestens zwei derartige Behälter in Betrieb haben muß. Man ist daher dazu übergegangen, die Klärung im langsam fließenden Wasser vorzunehmen, und zwar unterscheidet man da, wie bereits erwähnt, Behälter mit aufwärts fließender Wasserführung und solche mit ab- und aufwärts fließender Wasserführung. Bei den Klärbehältern mit langsam aufwärts fließender Wasserführung lassen sich natürlich die im vorigen besprochenen Verbesserungen betreffs trichterförmiger Gestaltung der Gefäßwände und Einbau von wagerechten und schrägen Führungsblechen ebenso mit Vorteil anwenden wie bei den vorhin besprochenen Klärbehältern.

In den Fig. 6, 7, 8 sind solche Klärbehälter dargestellt. Fig. 6 zeigt einen solchen in seiner

einfachsten Form. Das Wasser tritt bei *a* ein, steigt langsam aufwärts und fließt bei *d* wieder ab. *b* ist die Schlammsammelstelle und *c* der Hahn für den Schlammablaß. Es ist natürlich ohne weiteres einzusehen, daß die Fließgeschwindigkeit des Wassers im Behälter eine geringere sein muß als die Sinkgeschwindigkeit der Schlammteilchen, da die letzteren sonst mit nach oben gerissen werden und der Kläreffekt gleich Null sein würde. Die Sinkgeschwindigkeit der Ausfällungen ist durch Versuche ermittelt worden, und haben dieselben ergeben, daß für gröbere Aus-

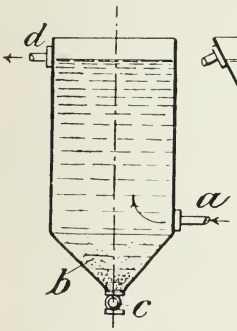


Fig. 6.

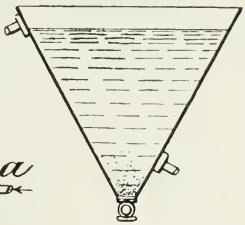


Fig. 7.

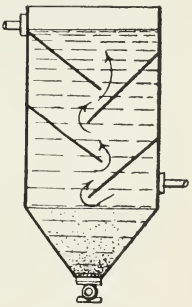


Fig. 8.

scheidungen diese Geschwindigkeit bis 0,2 mm pro Sekunde, für die ganz feinen Ausscheidungen dagegen bis 0,01 mm pro Sekunde beträgt. Man nimmt daher die Geschwindigkeit im aufsteigenden Wasser nicht höher an als 0,2 mm pro Sekunde und hat den Klärbehälter hiernach zu dimonsionieren.

Die Fig. 7 stellt einen Klärbehälter mit trichterförmigen Wandungen dar. Es hat diese Anordnung außer dem vorhin besprochenen Vorteil der Verkleinerung des Wasserweges *x* noch den weiteren Vorteil, daß die Geschwindigkeit des aufwärts fließenden

Wassers nach obenhin der Querschnittserweiterung entsprechend gering wird, wodurch die Sinkgeschwindigkeit der Schlammteilchen in den oberen Schichten mehr zur Geltung kommt. Schließlich ist in Fig. 8 die Konstruktion mit eingebauten schrägen Platten zur Darstellung gebracht. Auch hier wird der Weg der Schlammteilchen abgekürzt. Außerdem wird der Vorteil erzielt, daß infolge der eingebauten Platten das Wasser gezwungen wird, bei seiner Aufwärtsbewegung einen längeren Weg zurückzulegen als bei

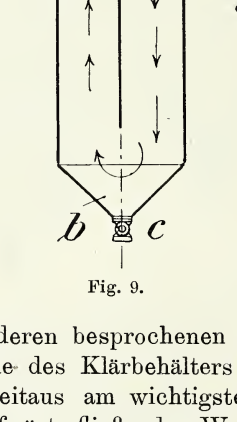


Fig. 9.

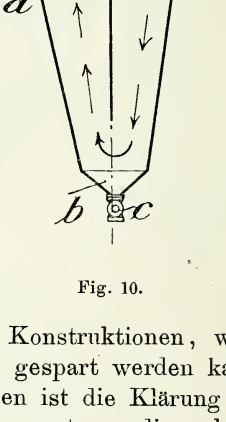


Fig. 10.

den anderen besprochenen Konstruktionen, wodurch an Höhe des Klärbehälters gespart werden kann.

Weitaus am wichtigsten ist die Klärung im ab- und aufwärts fließenden Wasserstrom, die wohl heute die allgemeinste Anwendung findet. Sie hat, wie wir sehen werden, den anderen besprochenen Methoden gegenüber ganz bedeutende Vorteile, vor allen Dingen was Raumausnutzung und Leistungsfähigkeit betrifft.

In Fig. 9 ist diese Art der Klärung im ab- und aufwärts geführten Wasserstrom in ihrer einfachsten Form zur Darstellung gebracht. In den Klärbehälter

ist eine Scheidewand eingebaut. Das bei *a* eintretende Wasser nimmt zunächst seinen Weg nach abwärts und steigt dann auf der anderen Seite der Scheidewand wieder aufwärts. Bei *b* lagert sich der ausgeschiedene Schlamm ab, der durch den Schlammablaß *c* von Zeit zu Zeit entfernt werden muß. Bei *d* fließt das geklärte Wasser ab.

Die Fig. 10 zeigt wieder die trichterförmige Form des Behälters auf diese Methode angewandt. Diese Form bringt hier dieselben Vorteile, wie wir sie bei den früher besprochenen trichterförmigen Behältern kennen gelernt haben.

Statt Teilung des Behälters durch eine Scheidewand wird meist ein in der Mitte des Behälters konzentrisch nach unten gehendes Rohr angewandt, wie in der Fig. 11 dargestellt. Es hat dies den Vorteil, daß es die Herstellung des Klärbehälters verbilligt. Außerdem wird durch diese Konstruktion eine günstige Verteilung der Geschwindigkeiten in der Wasserbewegung erreicht, insofern als die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstromes bedeutend geringer ist als die des sich durch das Rohr abwärts bewegenden Wasserstromes.

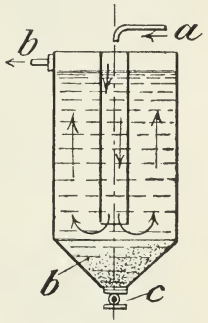


Fig. 11.

Die drei zuletzt an Hand der Fig. 9, 10 und 11 besprochenen Konstruktionen haben jedoch einen großen Nachteil, der darin besteht, daß die Umkehr des Wasserstromes gerade an der Stelle erfolgt, an welcher für die erfolgreiche Schlammabscheidung die größte Ruhe erforderlich wäre. Durch die plötzliche Richtungsänderung des Wasserstromes gerade über der Schlammsammelstelle werden leicht die abgelagerten

Schlammteilchen wieder aufgewühlt und die Klärung des Wassers ungünstig beeinflußt.

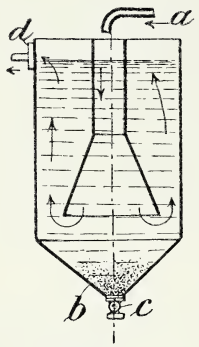


Fig. 12.

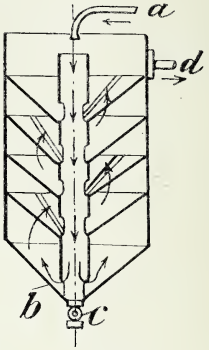


Fig. 13.

Um diese unruhige Wasserströmung über der Schlammsammelstelle nach Möglichkeit zu vermeiden,

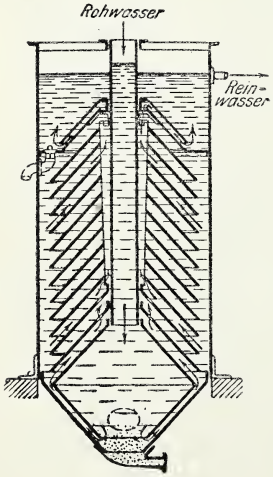


Fig. 14.

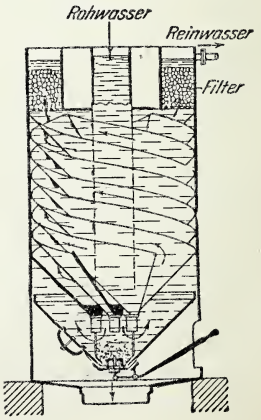


Fig. 15.

haben einige Konstrukteure das nach abwärts führende Rohr nach unten trichterförmig erweitert, um so die Umkehrstelle des Wasserstromes möglichst von der Schlammsammelstelle zu entfernen. Die Fig. 12 zeigt eine solche Ausführung.

Natürlich machte man sich auch bei den Klärbehältern dieser Methode die im vorigen besprochenen Maßnahmen zur Verkürzung der Klärdauer zunutze, indem man trichterförmige Bleche auf die verschiedenste Weise in die Klärbehälter einbaute. Einige derartige Ausführungsformen zeigen die nebenstehenden Fig. 13, 14 und 15.

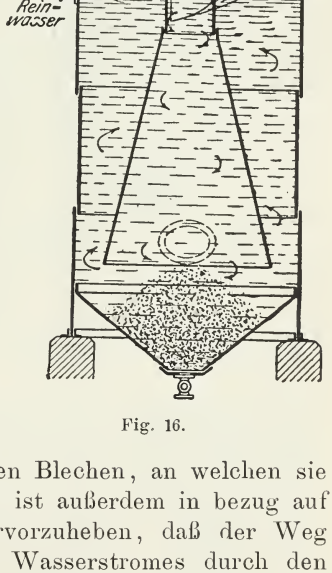


Fig. 16.

Über den Wert der trichterförmigen Einbauten läßt sich folgendes sagen: Die Klärdauer wird abgekürzt, da das Wasser in eine Anzahl von Schichten zerlegt wird. Die Schlammteilchen dieser Schichten haben sehr kurze Wege bis zu den trichterförmigen Blechen, an welchen sie dann heruntergleiten. Es ist außerdem in bezug auf diese Konstruktionen hervorzuheben, daß der Weg des aufwärts gerichteten Wasserstromes durch den Apparat, namentlich durch die spiralförmig aufsteigende Anordnung der Fig. 15, wesentlich verlängert wird.

Dieses Bestreben, das Wasser im Behälter spiralförmig durch den Apparat zu führen, zeigt uns auch die Fig. 16. Das Wesen dieser Ausführung besteht

in der zwangläufig spiralförmigen Einführung des Wasserstromes in den Apparat, der dann infolge der ihm gegebenen Richtung von selbst spiralförmig nach abwärts und dann ebenso aufwärts sich bewegen soll. Es soll durch diese Konstruktion namentlich die plötzliche Richtungsänderung über der Schlammsammelstelle vermieden werden.

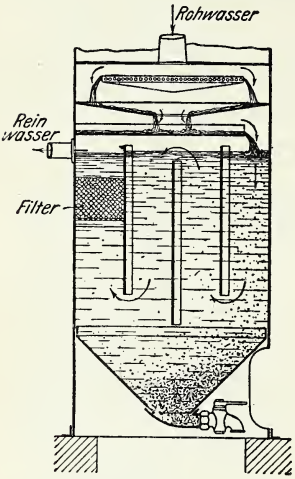


Fig. 17.

Statt der einmaligen Ab- und Aufwärtsführung kann dieselbe auch wiederholt stattfinden. Dabei können wieder die Trennungswände sowohl senkrecht als auch schräg angeordnet sein, wie das die Fig. 17 und 18 zeigen. Die schräge Anordnung der Bleche hatte, wie wir hervorgehoben hatten, den Zweck, die Schlammteilchen schneller auf die Gefäßwände gelangen zu lassen. Es lassen sich nun darüber, wie groß die Geschwindigkeit des durchfließenden Wassers bei Klärgefäßen mit schrägen Wandungen sein darf, einige

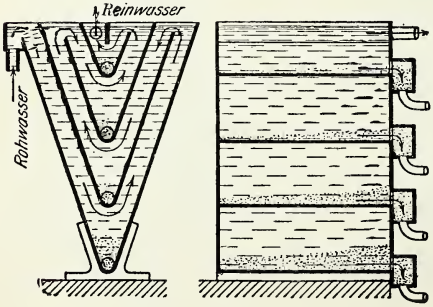


Fig. 18.

interessante Betrachtungen anstellen, die allerdings keinen Anspruch darauf machen dürfen, in der Praxis Berücksichtigung zu finden, aber zur Veranschaulichung der Vorgänge beim Klären hier angeführt werden mögen.

Bezeichnen wir ein Schlammteilchen mit S, sein spezifisches Gewicht mit γ und seine Masse mit m, und berücksichtigen wir das Bestreben der Schlammteilchen, sich senkrecht nach abwärts zu bewegen, dann wird seine Sinkgeschwindigkeit v_s sein: $v_s = \sqrt{2\,g\,h}$; die Geschwindigkeit des Wasserstromes ist abhängig vom Querschnitt des Behälters und von der in der Zeiteinheit durchtretenden Wassermenge. Nennen wir den Querschnitt F, die Wassermenge Q, dann muß die Geschwindigkeit des Wassers v_w gleich sein: $v_w = \frac{Q}{F}$. Die beiden Geschwindigkeiten v_s und v_w lassen sich durch eine Resultante ersetzen, welche eine Geschwindigkeit v_r darstellt, und welche also den Weg des Schlammteilchens bis zur schrägen Fläche ausdrückt. Es ist einleuchtend, daß der kürzeste Weg zur schrägen Fläche das Lot vom Schlammteilchen S auf diese Fläche ist, das heißt, die Geschwindigkeiten v_s und v_w müssen so gewählt werden, daß ihre Resultante v_r senkrecht auf den schrägen Gefäßwänden steht. Nennen wir den Neigungswinkel der Gefäßwandung α, so muß, wenn obige Bedingung erfüllt sein soll, die Beziehung bestehen:

$$v_r = v_s \sin \alpha,$$
$$v_w = v_s \cos \alpha.$$

In Fig. 19 sind die einzelnen Scheidewände ringförmig angeordnet und geschieht die Abwärtsführung durch ringförmige Einsatzzylinder. Hierbei ist darauf

hingewirkt, daß der Wasserstrom sich schneller nach abwärts bewegt und langsamer aufsteigt. Die Geschwindigkeit des Wassers wird bei diesem Klärbehälter um so geringer, je mehr es sich dem äußeren Umfang des Klärbehälters nähert. Von den ineinanderliegenden Behältern hat jeder einen Schlammablaß.

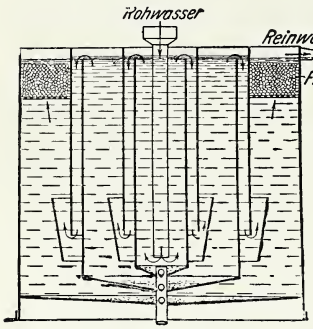


Fig. 19

Die in Fig. 20 gezeigte Form des Klärbehälters dient ebenfalls dazu, das Wasser mehrmals ab- und aufwärts zu führen. Die erste Aufwärtsführung weist hier wieder trichterförmige Einbauten, wie in Fig. 13 und 14 gezeigt, auf.

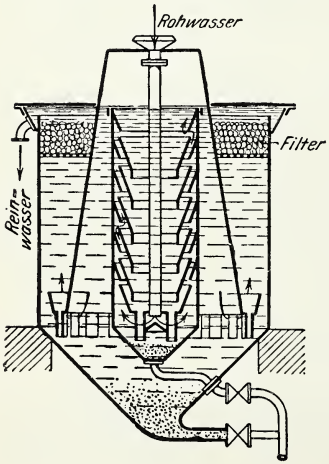


Fig. 20.

Ganz abweichend von den bisher besprochenen Klärbehältern, aber auch noch zugehörig zu denjenigen mit ab- bzw. aufwärts gerichteter Wasserführung ist der in Fig. 21 dargestellte Klärbehälter. Entgegen den vorher gezeigten Konstruktionen besteht der Behälter nicht aus einem lotrechten, sondern aus einem wagerecht zylindrischen Gefäß. Durch die bogen-

förmige Gestalt der Außenwände haben die Schlammteilchen meist kurze Wege bis zu den Wandungen. Der Hauptvorteil dieser Konstruktion besteht in der Vermeidung jeder plötzlichen Richtungsänderung des Wasserstromes. Seine Umkehr von der Abwärts- zur Aufwärtsbewegung findet ganz allmählich statt. Hierbei lagert sich der Schlamm in einer Ausbuchtung ab, die für die Wasserbewegung einen vollkommen toten Winkel bildet. Die Geschwindigkeit des durchfließenden Wassers ist zweckmäßig derart variiert, daß sie beim Abwärtsbewegen größer ist und so den Schlammteilchen eine gewisse Beschleunigung zur Schlammsammelstelle gibt, beim Aufwärtsbewegen dagegen wieder kleiner wird, und zwar so klein, daß das Sinkbestreben etwa noch mitgeführter Schlammteilchen zur Geltung kommen kann.

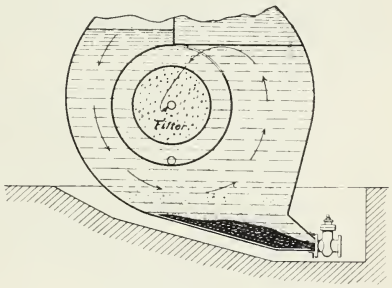


Fig. 21.

Auch die Länge des Wasserweges ist bei dieser Konstruktion eine große, da sich das Wasser zwischen den Umfängen zweier Zylinder von verhältnismäßig großem Durchmesser bewegt. In bezug auf Billigkeit in der Herstellung braucht nur auf die Fig. 13, 14 15 und 20 hingewiesen werden, und zeigt sich durch einen Vergleich, daß der beschriebene Klärbehälter sich billiger stellt. Der Apparat erhält einen verhältnismäßig großen Durchmesser, wird aber sehr schmal, so daß er auch in bezug auf den Raumbedarf sehr günstig ist, besonders unter Berücksichtigung

des Umstandes, daß die früher besprochenen Apparate sehr hoch gebaut werden müssen, um dem Wasser beim Durchfließen einen möglichst langen Weg zu geben. Die runde Form der früher beschriebenen Klärbehälter bedingt bei Aufstellung einen großen Bedarf an Bodenfläche, während der länglich rechteckige Querschnitt dieses Behälters eine Aufstellung selbst in schmalen Gängen gestattet. Besonders paßt sich dieser Apparat den in Kesselräumen gewöhnlich vorhandenen Raumverhältnissen sehr gut an.

Aus dem, was wir im vorigen über die Klärung von Flüssigkeiten gesagt haben, können wir für die Konstruktion von Klärbehältern vier wichtige Gesichtspunkte ableiten:

1. Der Weg, welchen die Schlammteilchen im Behälter während ihrer Sinkbewegung bis zu den Gefäßwandungen zurücklegen müssen, ist möglichst kurz zu bemessen.
2. Jede plötzliche Richtungsänderung des durch den Apparat fließenden zu klärenden Wassers ist zu vermeiden.
3. Besonders muß die Geschwindigkeit des Wasserstromes in der Nähe der Schlammsammelstelle eine äußerst geringe sein.
4. Die Länge des Weges, welchen das Wasser durch den Apparat zurücklegen soll, muß möglichst groß sein.

Zu diesen konstruktiven Rücksichten kommen noch einige praktische Anforderungen. Besonders dürfen die Herstellungskosten der Apparate nicht übermäßig hohe sein, und ferner darf auch der Raumbedarf der Apparate nicht groß sein, sie müssen sich vielmehr selbst den beschränktesten Raumverhältnissen bequem anpassen.

Die Filterung des Wassers.

Eine Filtration des Wassers wird sich überall dort empfehlen, wo das Wasser irgendwelche mechanisch beigemengte Unreinlichkeiten enthält, die seine Verwendung als Trinkwasser oder als Gebrauchswasser für kommunale, häusliche und gewerbliche Zwecke ausschließen. Die beste Filtration bildet der Erdboden selbst und, die im nachfolgenden zu besprechenden Vorrichtungen für die Filtration von Wasser sind im Prinzip getreue Nachbildungen dieser natürlichen Filterwirkung des Erdbodens. Tiefenwasser wird infolge der Bodenfiltration meist ohne weiteres zu verwenden sein, soweit nicht besondere chemische Eigenschaften seine Verwendung ausschließen. Nicht dagegen Oberflächenwasser — das Wasser aus Flüssen und Seen, welches in den meisten Fällen nicht nur mechanische Beimengungen in Form von organischer Substanz, sondern auch gesundheitsschädliche Bakterien enthält.

Zur Beseitigung gesundheitsschädlicher Bakterien muß das Wasser recht vorsichtig und langsam filtriert werden. Für das Zurückhalten mechanischer Beimengungen kann die Filtration mit höherer Durchflußgeschwindigkeit des Wassers erfolgen. Wir unterscheiden daher die Vorrichtungen für Filtration in Langsamfilter und Schnellfilter.

Häufig wendet man der größeren Sicherheit wegen auch eine Kombination der beiden Filterarten an. Eine weitere, häufig angewandte Kombination ist die mit mechanischen Klärvorrichtungen. Es findet letztere für den Fall Anwendung, wenn größere Mengen mechanischer Verunreinigungen ein schnelles Verschmutzen der Filterfläche befürchten lassen.

Um nochmals zusammenzufassen, werden wir im nachfolgenden zu besprechen haben:

1. Langsamfilter,
2. Schnellfilter,
3. Kombination von Langsam- und Schnellfiltern,
4. Kombination von Filterung und mechanischer Klärung.

Die Langsamfilter finden besonders zur Erzeugung einwandfreien Trinkwassers meist für kom-

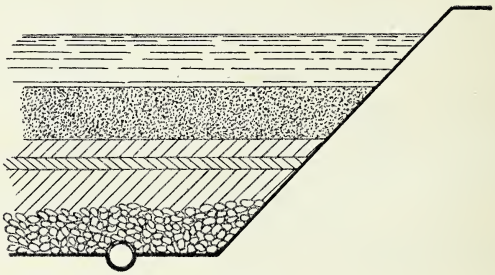


Fig. 22.

munale Wasserversorgung Verwendung und kommen in Verbindung mit großen Wasserpumpwerken zur Klärung des Oberflächenwassers in Anwendung. Die Konstruktion derselben ist so ziemlich allgemein die gleiche. Es sind große gemauerte Becken, welche am Boden entweder gemauerte Kanäle oder Drainageröhren zur Ableitung des gereinigten Wassers besitzen. Das eigentliche Filter besteht aus verschiedenen Schichten Kies und Sand von der verschiedensten Korngröße. Gewöhnlich findet man zu oberst die feine Sandschicht, nach untenhin immer gröber werdende Kiesschichten. Die Größe der

Filterfläche richtet sich nach der zulässigen Filtergeschwindigkeit, die zu 100—200 mm pro Stunde angenommen wird. Meist geht man mit der Wassergeschwindigkeit nicht über 100 mm, um bezüglich der Zurückhaltung gesundheitsschädlicher Bakterien einigermaßen sicher zu sein. Die Höhe der Filterschicht wird zu 1—1,5 m angenommen. Die Höhe des Wasserstandes über dem Filter beträgt ungefähr 1 m.

Die Inbetriebsetzung derartiger Filter geschieht in der Weise, daß zunächst Wasser von unten nach oben durch die Filterschicht durchgelassen wird, um so die Luft aus dem Filter gut zu entfernen. Nachdem dieses geschehen, wird das Wasser von oben nach unten durch das Filter gelassen. Hierbei lagern sich auf der Oberfläche des Filters die im Wasser enthaltenen Verunreinigungen ab und bilden allmählich eine Schicht auf der Filteroberfläche, die sogenannte Filterhaut. Diese sich bildende Schlammschicht, welche aus Bakterien und organischen Stoffen besteht, ist für die Reinigung des Wassers, namentlich für die Befreiung desselben von schädlichen Bakterien, von großer Wichtigkeit, indem sie für die Zersetzung und Unschädlichmachung der schädlichen Bakterien sorgt. Das Filter arbeitet auch erst vollständig einwandfrei, wenn die gebildete Schlammschicht eine gewisse Dicke erlangt hat.

Natürlich darf die Schicht nicht zu dick werden, da sonst die Durchlässigkeit des Filters schließlich ganz aufhört; man sagt dann, „das Filter hat sich tot gearbeitet“. Zur Verhütung zu großer Schlammansammlung muß die Schlammschicht von Zeit zu Zeit entfernt werden, wozu das betreffende Filter außer Betrieb gesetzt werden muß. Die Entfernung der Schlammschicht geschieht dann in der Weise, daß ca. 2 cm des Filtermaterials von oben abgenommen

und durch neuen Filtersand ersetzt werden. Den abgenommenen Filtersand kann man in besonderen Vorrichtungen wieder durch Waschen reinigen und ihn darauf wieder verwenden. Die Zeitdauer, während welcher ein Filter im Betrieb bleiben kann, richtet sich nach dem Grade seiner Verunreinigung und schwankt zwischen 8 und 60 Tagen.

Daß derartige Langsamfilter tatsächlich die Zurückhaltung von Bakterien in weitgehender Weise besorgen, geht aus den nachfolgenden Untersuchungsergebnissen des Wassers vom Wasserwerk Stralauer Tor, Berlin, hervor. Das Wasser wurde wiederholt auf seinen Gehalt an Keimen vor und nach der Filtration geprüft und ergaben sich die nachfolgenden Zahlen:

Tabelle 8.

Jahr	Wasseruntersuchung am	Spreewasser vom Stralauer Werk (unfiltriert)	Nach Filtration
1885	9. Juni	7 980	22
1885	21. Juli	110 740	1656
1885	25. August	11 900	26
1885	22. September . .	9 200	44
1885	27. Oktober. . . .	4 840	24
1885	24. November . .	31 500	167
1885	1. Dezember. . .	9 000	117
1886	26. Januar	29 000	100
1886	2. Februar. . . .	20 000	80
1886	30. März	100 000	2300

Man ersieht aus dieser Tabelle, wie schwankend der Grad der Reinigung ist, und daß es bei dem Verfahren der Langsamfiltration außerordentlicher Aufmerksamkeit bedarf, um einigermaßen Sicherheit zu haben.

Die Schnellfilter dienen mehr der Aufgabe, das Wasser von den beigemengten mechanischen Verunreinigungen zu befreien; weniger sollen sie etwaige Bakterien zurückhalten, sollen also nicht dort zur Verwendung kommen, wo es sich um Beschaffung einwandfreien Trinkwassers handelt. Sie dienen also zur Brauchbarmachung des Wassers für gewerbliche Betriebe, in welchen ein klares Wasser, dessen sonstige Beschaffenheit nebensächlich ist, Verwendung finden soll. Es sind diese Filter Blechbehälter, in welchen das Filtermaterial, gewöhnlich Kies oder Sand, gelagert ist. Das zu reinigende Wasser wird oberhalb der Kiesschicht in den Behälter gebracht, durchläuft die Kiesschicht und fließt am unteren Teil des Filters gereinigt ab. Zur näheren Erläuterung dieses Vorganges ist in der Fig. 23 ein derartiges Filter zur Darstellung gebracht, wie es von der Firma Halvor Breda, Berlin, gebaut wird.

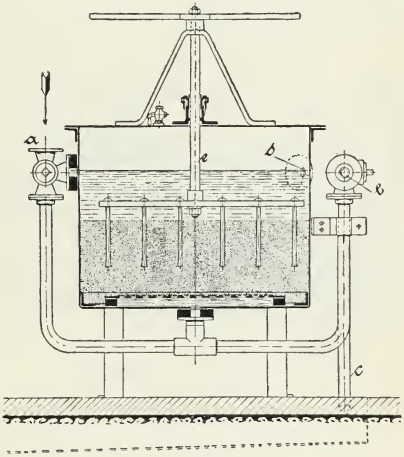


Fig. 23.

Das Filter besteht aus einem zylindrischen Gefäß, welches auf seinem Boden ein Sieb trägt und bis zu einer gewissen Höhe mit feinem, gewaschenem und gesiebtem Perlkies gefüllt ist.

Das durch den Dreiweghahn *a* (bei großen Filtern treten an dessen Stelle zwei Wasserschieber) einströmende Wasser durchdringt diese Kiesschicht, läßt auf derselben die festen Bestandteile zurück und fließt durch das Sieb ab, um nach dem Dreiweghahn *b* und dem Reinwasserbehälter zu gelangen. Das filtrierte Wasser ist ganz klar und von allen mechanisch beigemengten Bestandteilen befreit. Durch die Ablagerung des Schlammes verliert der Kies aber an Durchlaßfähigkeit und muß dann gewaschen werden. Dies geschieht, indem die beiden Dreiweghähne um-

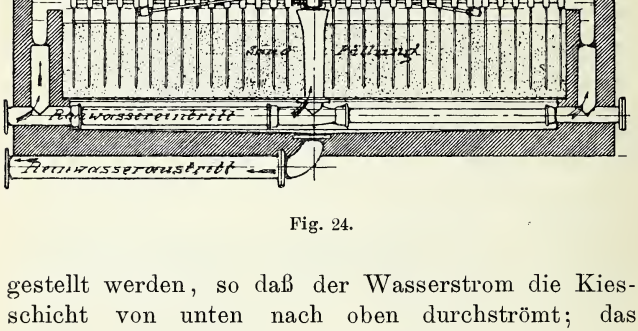


Fig. 24.

gestellt werden, so daß der Wasserstrom die Kiesschicht von unten nach oben durchströmt; das Schlammventil *d* wird dann geöffnet, so daß das schmutzige Wasser in den Kanal ablaufen kann. Die Wirkung wird unterstützt, wenn man den in der Kiesschicht befindlichen Rechen einige Male herumdreht, wodurch der Kies ordentlich durchgearbeitet und der Schlamm losgespült wird. Bei kleineren Apparaten ist das Rührwerk nach Fig. 23 gestaltet, und bei größeren erhält es, wie Fig. 24 und 25 zeigt, Kurbel- oder Riemenantrieb und Zahnradübersetzung.

An Stelle des Rührwerks verwenden einige Firmen Dampf, welcher durch ein unter der Kiesschicht angeordnetes Rohrleitungssystem strömt und so das Filtermaterial reinigen soll.

Fig. 24 zeigt uns noch eine größere Filterkonstruktion mit Rührwerk. Der Wassereintritt geschieht von oben, und zwar ist am Umfang des gemauerten Filterbehälters eine Rinne angeordnet; ebenso ist im Zentrum des Filters ein Wassereintrittsrohr vorgesehen.

Es ist oft nicht genügend Platz vorhanden, um derartige große Filter unterzubringen; auch erfordert das Rührwerk infolge seiner langen Hebelarme sehr viel Antriebskraft. Es kann daher, wie die Fig. 25 erkennen läßt, die Filterfläche auch geteilt und die einzelnen Flächenteile etagenförmig übereinander angeordnet werden. Auch dieses Filter ist sowohl mit Rührwerk als auch mit Gegenstromleitung ausgerüstet, so daß seine Reinigung bequem erfolgen kann. Beim Filterbetrieb tritt das Rohwasser bei *a* ein und wird durch Stellen der beiden bei *a* befindlichen Ventile zunächst auf das obere Filter geleitet. Dieses ist durch ein weites Rohr im Zentrum mit dem Oberraum des unteren Filters verbunden, so daß also das bei *a* eintretende Rohwasser gleichzeitig

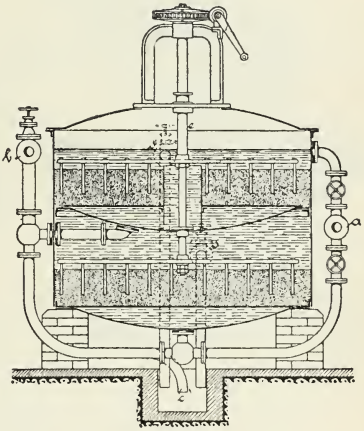


Fig. 25.

durch beide Filterschichten durchtritt. Unterhalb der Filterschichten fließt das gereinigte Wasser aus jedem Filter einer gemeinsamen Rohrleitung zu und kann bei *b* entnommen werden. Für die Reinigung des Filtermaterials wird das Wasser von *a* aus unter die Filter dirigiert. Gleichzeitig werden Ventile *d* geöffnet, durch welche der Schlamm abläuft. Es werden solche Filter von der Firma Halvor Breda, Berlin, gebaut.

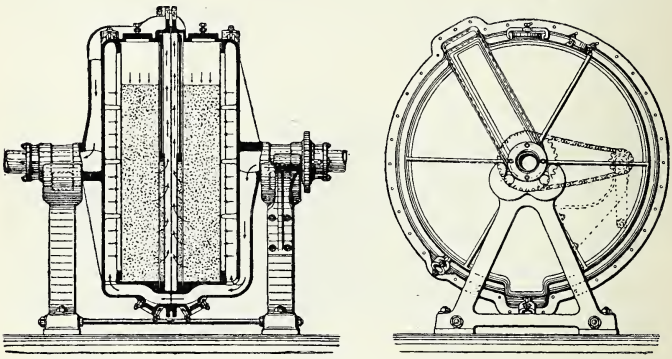


Fig. 26.

Um eine möglichst vollkommene Reinigung des Filtermaterials zu erzielen, wird von der Firma Allgemeine Städtereinigungs-Gesellschaft Berlin eine Konstruktion ausgeführt, welche in Fig. 26 dargestellt ist. Hier ist die ganze Filtertrommel in Zapfen drehbar gelagert. Der Eintritt des Rohwassers sowie der Austritt des Reinwassers erfolgt durch die drehbaren Zapfen. Im übrigen bewegt sich das Wasser gemäß der in der Figur eingezeichneten Pfeilrichtung durch den Apparat. Die Filterfläche ist, wie ersichtlich, ähnlich wie in Fig. 25, in zwei parallel geschaltete

Teile geteilt; von außen fließt das Rohwasser zu, innen das Reinwasser ab. Das Filtermaterial wird durch Drehen des ganzen Filters gereinigt.

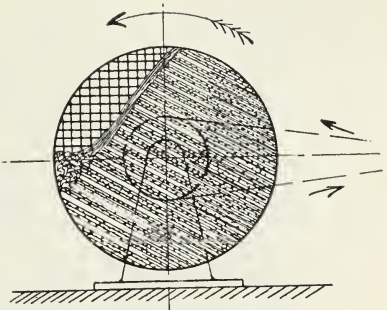


Fig. 27.

Beim Drehen des Filters wird, wie dies in der Fig. 27 schematisch dargestellt, das Filtermaterial ordentlich durcheinandergebracht. Während des Drehens kann auch bei diesem Filtersystem durch Gegenwasserstrom gespült werden, und geschieht die Anordnung der Rohrleitung dann in der Art, wie in Fig. 28 dargestellt.

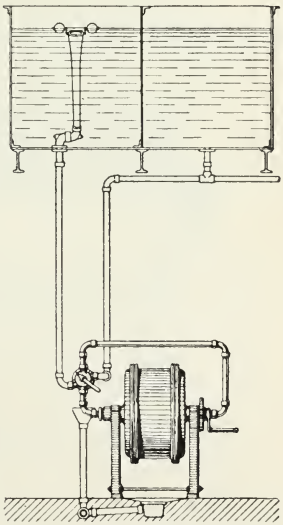


Fig. 28.

Wie aus den Fig. 29 und 30 ersichtlich, kann man diese rotierenden Filter auch so ausbilden, daß der Eintritt des Rohwassers am Umfang erfolgt. Die Wirkungsweise sowie die Art der Reinigung der Filter ist natürlich dieselbe. Auch diese Filterkonstruktionen werden von der Firma Allgemeine Städtereinigungs-Gesellschaft Berlin ausgeführt.

Die Konstruktionsverhältnisse derartiger Sand- und Kiesfilter sind die

folgenden: Man wählt die wirksame Filterfläche zu 0,2 qm für 1 cbm stündlich zu reinigenden Wassers.

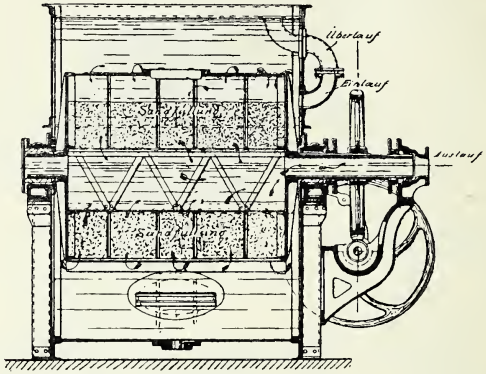


Fig. 29.

Das entspricht einer Filtergeschwindigkeit von 5 m in der Stunde. Es ist zulässig, die Filtergeschwindig-

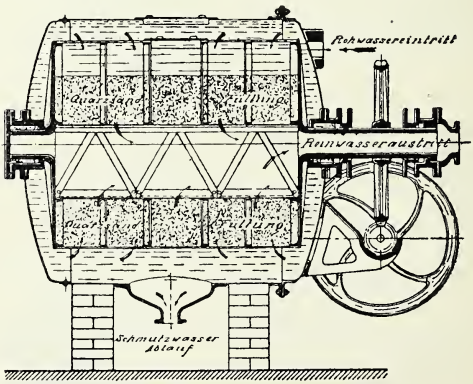


Fig. 30.

keit bis auf etwa 8 m zu steigern. Der durch das Filtermaterial erzeugte Druckhöhenverlust beträgt 0,5

bis 1,5 m Wassersäule. Die Korngröße des Filterkieses richtet sich nach der Beschaffenheit des zu reinigenden Wassers. Die Höhe der Filterschicht wird zwischen 250 und 350 mm angenommen. Die Reinigungsvorrichtungen müssen so gebaut werden, daß das Durchwaschen des Filtermaterials auch vollkommen geschieht. Die Reinigungsvorrichtungen werden alle Tage ca. 10 Minuten in Betrieb genommen.

Es ist nicht immer nur Kies und Sand, welche als Filtermaterial Verwendung finden, sondern man verwendet auch poröse Steinmaterialien aller Art. In dieser Hinsicht ist der Breuer-Filter der Firma H. Breuer & Co., Höchst am Main, erwähnenswert. Dasselbe besteht aus einem Gefäß, welches durch eine horizontale Scheidewand in zwei Kammern geteilt ist. In die horizontale Scheidewand sind Filterelemente eingehängt, welche mit ihrem unteren langen Ende in den unteren Raum des Blechgefäßes hineinragen. In der Fig. 31 ist ein derartiges Filter dargestellt. Die Filterelemente müssen sich in bezug auf ihre Zusammensetzung und Porosität nach der jeweiligen Beschaffenheit des Rohwassers richten. Die Reinigung der Filterelemente spielt natürlich auch bei diesen Filtern eine außerordentlich wichtige Rolle, und sie geschieht hier, ebenso wie bei den vorhin

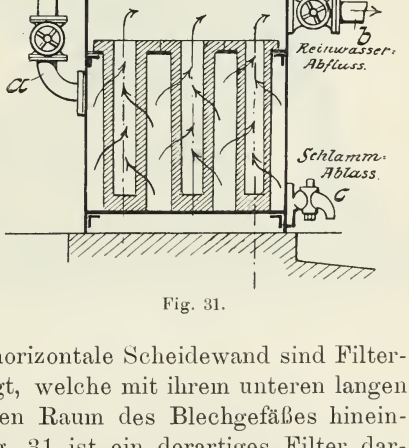


Fig. 31.

besprochenen Filtern, dadurch, daß man Wasser im Gegenstrom durch das Filter laufen läßt und den Schlammhahn *c* öffnet.

Sehr gut haben sich die Filterpressen bewährt, welche besonders von der Firma A. L. G. Dehne, Halle, gebaut werden. Nach der Fig. 32 bestehen diese Filterpressen aus einem kräftigen Rahmen. Auf zwei horizontale Streben werden einzelne mit gitterförmigen Durchbrüchen versehene rechteckige

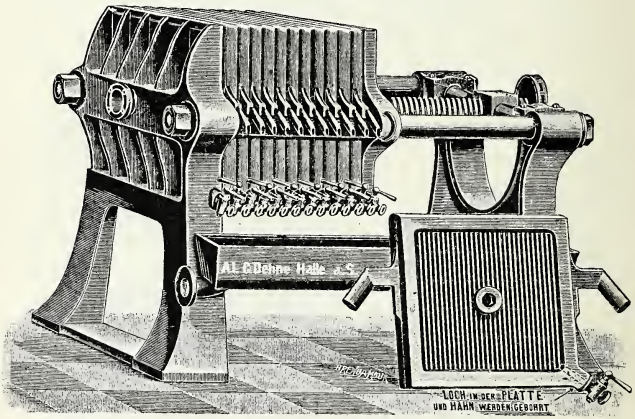


Fig. 32.

Platten gelegt, zwischen welche Filtertücher gebracht werden. Nachdem die erforderliche Anzahl Platten zusammengestellt ist, wird durch eine Schraubenspindel das Ganze in dem Gestell fest zusammengespannt. Die zu klärende Flüssigkeit ergießt sich in alle Kammern von einem durchlaufenden Eingangskanal aus. Die filtrierte Flüssigkeit läuft nach dem Passieren der Filtertücher in Sammelrinnen und kann hier entnommen werden. Die festen Stoffe bleiben

zwischen den Tüchern zurück. Die Reinigung dieser Filter ist nicht so einfach, da hierzu die ganze Filterpresse auseinandergenommen, die Tücher ausgewaschen und das Ganze wiederum zusammengebaut werden muß.

Eine Konstruktion, bei welcher als Filtermaterial Asbestzellulose verwendet wird, ist in Fig. 33

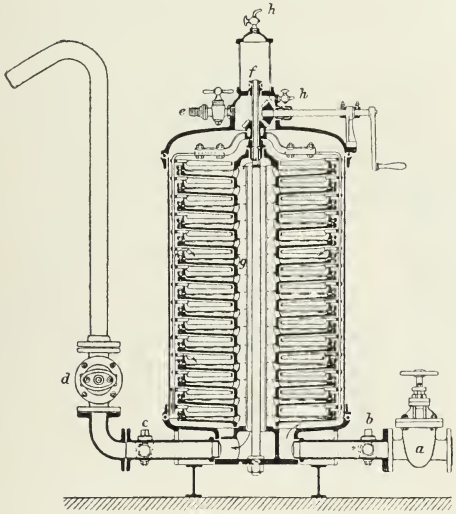


Fig. 33.

dargestellt. Es ist dies eine Bauart der Firma Arnold & Schirmer, Berlin. Sie hat den großen Vorzug, daß sich eine große Filterfläche auf einem verhältnismäßig kleinen Raum unterbringen läßt, da das verwendete Filtermaterial schon in ganz dünnen Schichten eine außerordentlich gute Filtrationswirkung zeigt. Der Apparat besteht aus einem Zylinder, in welchem übereinanderliegende, nach der Mitte schräg abfallende

Platten gelagert sind. Auf diesen Platten befinden sich wagerecht gelagerte Drahtgewebe, auf welchen das Filtermaterial ruht. Der durch den Filterapparat gehende Wasserstrom nimmt seinen Weg in der Pfeilrichtung. Bei *a* tritt er ein, bewegt sich an der Außenwand des Behälters nach aufwärts und geht dabei durch die übereinanderliegenden Filter-

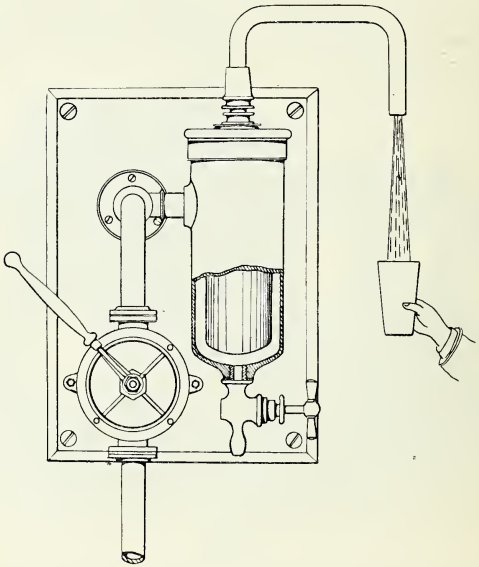


Fig. 34.

flächen. Im Zentrum des Behälters, im Rohr *g*, sammelt sich die gereinigte Flüssigkeit und fließt durch *d* ab.

Auch bei diesen Apparaten sind gut wirksame Reinigungsvorrichtungen, welche ein Reinigen ohne Betriebsunterbrechung gestatten, vorgesehen. Der Wasserstrom kann in entgegengesetzter Richtung

durch die Vorrichtung geleitet werden, wofür zwei Hähne *b* und *c* in der Eintritts- und Austrittsleitung vorgesehen sind. Soll das Wasser im Gegenstrom durch den Apparat gehen, dann tritt es bei *c* ein und bei *b* aus. Ein durch Kurbel und Zahnrad angetriebenes Rührwerk dient einem doppelten Zweck. Es soll bei Inbetriebsetzung des Filters die Filtermasse auf den einzelnen Sieben verteilen und während des Betriebes Schlammablagerungen entfernen.

Wenn man die Einrichtungen zum Filtrieren des Wassers vollständig besprechen will, dann dürfen die für den Hausbedarf gebräuchlichen Kleinfilter nicht unerwähnt bleiben. Fig. 34 gibt ein Bild einer derartigen Anlage in Verbindung mit einer kleinen Pumpe. Der eigentliche Filterkörper besteht aus Asbestporzellanerde. Es ist dies ein sehr gut poröses Material, welches Unreinlichkeiten sowie gesundheitsschädliche Bakterien gut zurückhält. Die in der Figur dargestellte Konstruktion entspricht einer Ausführung der Firma H. Hammelrath & Co., Köln-Lindenthal.

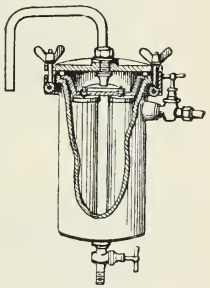


Fig. 35.

Einen besonderen Ruf auf dem Gebiete der besprochenen Kleinfilter für den Hausgebrauch besitzt auch die Firma Berkefeld-Filtergesellschaft, Celle, Provinz Hannover, deren eine Ausführung die Fig. 35 zeigt. Das zu filtrierende Wasser tritt durch einen seitlichen Zuflußhahn in das Filter, durchdringt die in einem mit Gummiringen abgedichteten Einsatz hängenden Filterzylinder und kann nur durch das gemeinschaftliche Ablaufrohr austreten. Das System dieser Kleinfiltration hat die genannte Gesellschaft

auch mit Erfolg auf Großfiltrationsanlagen übertragen. Die nachstehenden Figuren zeigen eine derartige Anlage in schematischer Darstellung. Das zu filtrierende

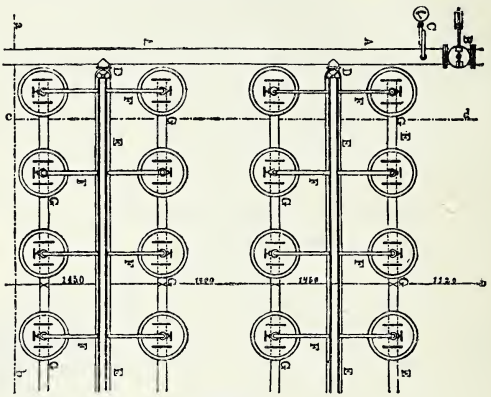


Fig. 36a.

Wasser kommt durch Hauptrohr A, welches mit Sicherheitsventil B und Manometer C versehen ist, nach den Nebenrohren E und von hier aus in die zu den

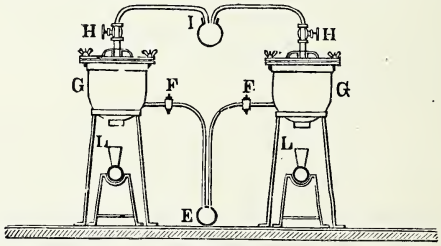


Fig. 36b.

einzelnen Filterelementen abzweigenden Leitungen F. Die Filterkessel G sind im Innern ähnlich mit einer Anzahl poröser Zylinder ausgerüstet, wie dies auf der Fig. 36 zu sehen ist. Durch die Ablaufrohre H

fließt das Wasser filtriert in die Sammelrinne *I*. Der im Innern der einzelnen Filterelemente *G* sich ansammelnde Schmutz wird durch Öffnen von Hähnen im Boden der Filter nach Rohrleitung *L* abgelassen. Dieses Rohr ergießt seinen Inhalt in den Kanal *M*.

Mit der Kombination von Langsam- und Schnellfiltern bezweckt man lediglich eine Verbesserung und Ergänzung der Einzelwirkungen. So hat es sich in vielen Fällen als zweckmäßig erwiesen, Schnellfilter den Langsamfiltern vorzuschalten, um sie zu entlasten, indem die Langsamfilter dadurch vor übermäßiger Verschlammung geschützt werden

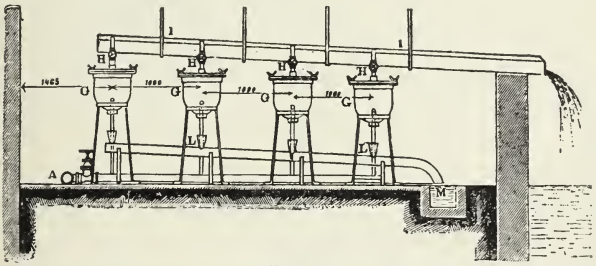


Fig. 36c.

und ihrer Aufgabe, Bakterien zurückzuhalten, in erhöhtem Maße gerecht werden. Da infolge dieser Vorschaltung die Langsamfilter sehr weitgehend entlastet werden, hat sich auch bei Anwendung dieses kombinierten Systems in der Praxis eine billigere Gestaltung der Betriebskosten um ca. 50 % ergeben. Auch die Anlagekosten werden durch solche Anordnung erheblich reduziert, da die sonst unumgänglichen Langsamfilterreserven wesentlich in bezug auf ihre Anzahl eingeschränkt werden können.

Eine weitere wichtige Kombination ist die der Filter mit vorhergehender mecha-

nischer Klärung. Durch derartige Einrichtungen wird eine Entlastung der Filter herbeigeführt, indem die hauptsächlichsten Schlammengen vorher durch Klärung ausgeschieden werden und dem Filter nur die Aufgabe bleibt, die feineren Trübungen des Wassers zu beseitigen. Wir werden im nachfolgenden, hauptsächlich bei Besprechung der Wasser-

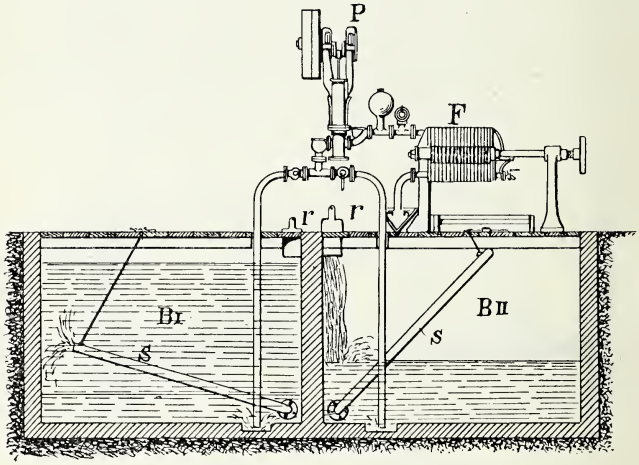


Fig. 37.

reinigungsapparate für den Dampfkesselbetrieb, solche Kombinationen noch in großer Zahl kennen lernen.

Die obenstehende Fig. 37 läßt eine etwas abweichende Kombination mechanischer Klärung mit einer Dehneschen Filterpresse erkennen. Die beiden Klärgruben, die abwechselnd gefüllt werden, damit immer in einer derselben das Wasser Ruhe zum Klären hat, während die andere Grube gefüllt wird, sind mit einer Pumpe und einer Filterpresse verbunden. Das geklärte Wasser wird mittelst Senkrohr aus dem Kanal

abgelassen; der zurückbleibende Schlamm wird mit der Pumpe in die Filterpresse gedrückt, aus welcher das Wasser geklärt abläuft, während der Schlamm zu festen Platten innerhalb der Filterpresse erstarrt.

Die chemische Behandlung des Wassers.

Die chemische Behandlung des Wassers richtet sich nach der Menge und der Beschaffenheit der gelösten Stoffe. Vor allen Dingen sind es zwei Aufgaben, die häufig wiederkehren, und zwar ist die erste die Ausscheidung des im Wasser gelösten Eisens, die zweite ist die Ausscheidung der im Wasser gelösten kohlensauren und schwefelsauren Kalk- und Magnesiumverbindungen, um seine Enthärtung zu erzielen. Wir werden also bei unserer Besprechung zu berücksichtigen haben:

1. die Enteisenung des Wassers,
2. die Enthärtung des Wassers.

Die Enteisenung des Wassers.

Meist macht das Ausscheiden des Eisens aus dem Wasser keine großen Schwierigkeiten; vielmehr scheidet es sich schon von selbst aus, wenn man das betreffende Wasser längere Zeit stehen läßt. Es macht sich dieses Ausscheiden des Eisens durch eine rötliche Trübung zunächst bemerkbar, welche sich bald in einen flockenartigen, rotbraunen Niederschlag umwandelt.

Am erfolgreichsten wird das Eisen durch Oxydation ausgeschieden. Es wird dem Wasser eine genügende Menge Sauerstoff zugeführt. Es geschieht diese Sauerstoffzufuhr am zweckmäßigsten durch

Belüftung des Wassers. Der chemische Vorgang ist der, daß durch den Sauerstoff das im Wasser gelöste Eisenoxydul in unlösliches Eisenoxydhydrat übergeführt wird. Wie sehr Wasser geneigt ist, Sauerstoff aufzunehmen, kann aus den Ergebnissen nachstehenden Versuches entnommen werden. Es wurde durch eine Brause Wasser sehr fein verteilt und in Regenform aus verschiedenen Höhen fallen gelassen; dabei ergab sich:

Tabelle 9.

	Auf 100 l Wasser ein Sauerstoffgehalt von Gramm
Beim Austritt aus der Brause	2,25
Nach einer Fallhöhe von 10 cm. . .	3,10
„ „ „ „ 25 „ . . .	3,50
„ „ „ „ 50 „ . . .	4,10
„ „ „ „ 100 „ . . .	6,80
„ „ „ „ 200 „ . . .	7,38

Wenn man berücksichtigt, daß die Sättigung des Wassers mit Sauerstoff vorhanden ist, sobald 100 l des Wassers 7,69 g Sauerstoff enthalten, dann erkennt man den durch Belüftung erzielten hohen Sättigungsgrad. Berücksichtigt man ferner, daß zur Oxydation von 1,5 g Eisenoxydul 0,123 l Sauerstoff erforderlich sind, so ersieht man, daß nach Kenntnis des Eisengehaltes leicht die erforderliche Menge Sauerstoff bestimmt werden bzw. die Regenfallhöhe festgelegt werden kann. Die Einfachheit derartiger Enteisenungsanlagen ergibt sich aus der Fig. 38. Es sind dies Vorrichtungen, welche aus in bestimmter Höhe angeordneten Brausen bestehen, aus welchen das Wasser regenartig verteilt in darunter befindliche Behälter fällt. Zum Zurückhalten

des sich bildenden Eisenschlammes sind außerdem Kiesfilter in diese Behälter eingebaut. Zur Rückspülung des Filters ist eine Leitung *H* vorgesehen, welche es gestattet, das Wasser im Gegenstrom durch das Filter zu leiten. Die Enteisenung durch Regen-

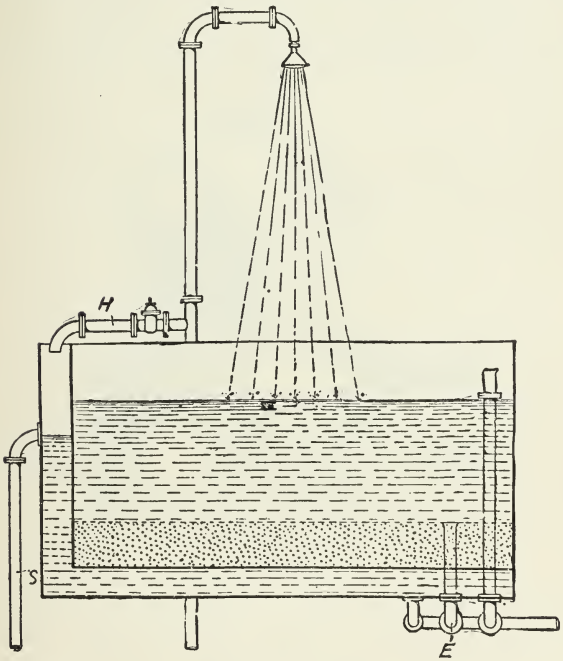


Fig. 38.

fall ist zuerst durch Oesten ausprobiert und angewandt worden.

Ein anderes Verfahren ist das Piefkesche, welcher zwecks Belüftung das Wasser über Koksstücke leitet, an deren poröser Oberfläche es sich sehr fein verteilt. Die umstehende Fig. 39 zeigt

eine derartige Anlage, die aus dem Rieseler, dem Filterbassin und dem Reinwasserbehälter besteht.

An Stelle der Koksrieselung hat man auch eine Schichtung von porösen Backsteinen angewandt. Der Zweck der zur Anwendung dieser Steinrieselung führte, ist derselbe wie der der Koksrieselung, nämlich möglichst feine Verteilung des Wassers, damit es für die Belüftung mit Sauerstoff eine möchlichst

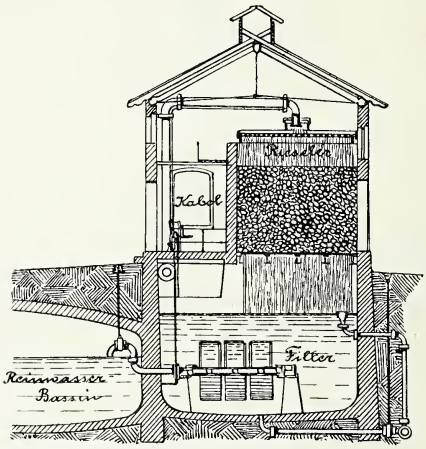


Fig. 39.

große Oberfläche bietet. Wichtig ist, bei diesen Rieselapparaten für eine gute Verteilung des Wassers auf den Rieseler Sorge zu tragen.

Ferner spielen auch die Filter eine große Rolle. Das Filtermaterial ist sorgfältig auszuwählen. Man nimmt gewaschenen und gesiebten Kies von 2—3 mm Korngröße. Auch für genügende Reinigungsvorrichtungen zum Filter sowie geeignete Klärbehälter zum Abscheiden des Eisenschlammes muß Sorge getragen werden.

Bemerkenswert sind ferner einige rein chemische Verfahren, welche zur Enteisenung des Wassers Anwendung finden. Natürlich läßt sich auf Grund der chemischen Untersuchung des Wassers die Art und Menge der Zusätze genau bestimmen. Hierher gehört die Enteisenung durch Verwendung von Holzwolle in Filtern, welche mit Zinnoxyd präpariert ist. Der im Wasser befindliche Sauerstoff soll durch das Zinnoxyd auf das im Wasser gelöste Eisenoxydul übertragen werden und so das Eisen als unlösliches Eisenoxydhydrat ausfällen. Die Wirkung des Filters soll sich fortwährend von selbst regenerieren, so daß irgendwelche Betriebskosten nicht entstehen.

Kröhnke wendet Eisenchlorid und Kalk an. Ein anderes Verfahren — Lübbert-Steckel — beruht auf der Anwendung von Kalk allein.

Weitere chemische Verfahren sind: Filtration des Wassers durch Mangansuperoxyd, ferner Zusatz von Eisenoxydsalzen und fein geschlemmter Kreide zum Wasser, auch Filtration des Wassers durch Schichten von natürlichem Eisenoxyd. Es würde zu weit führen, die zum Teil recht komplizierten, zum Teil noch gar nicht richtig geklärten chemischen Vorgänge hier zu erörtern. Es genügt für uns das Bekanntsein mit den besprochenen Maßnahmen. Im allgemeinen kann der Behandlung eisenhaltigen Wassers durch chemische Zusätze nicht das Wort gesprochen werden; denn die Beschickung erfordert recht viel Aufmerksamkeit, damit die Mengenverhältnisse stets die richtigen sind. Außerdem können durch die Zusätze unter Umständen wieder andere Verbindungen im Wasser in Lösung gehen, die nicht erwünscht sind.

Man greift immer wieder auf die Enteisenung des Wassers durch Belüftung zurück, da diese Methode immer noch die meisten Vorteile bietet. Die An-

lagen werden aber kostspielig und umständlich. Die Rieseler bedingen eine ziemliche Höhe der ganzen Anlage, so daß eine Pumpe aufgestellt werden muß, um das Wasser auf die Rieseler zu heben. Nachdem es die Rieseler passiert hat, ist es wieder zu ebener Erde, und es muß nun womöglich nochmals gehoben werden, um den einzelnen Verbrauchsstellen mit einem gewissen Druck zugeführt zu werden. Hierzu ist aber wiederum eine Pumpe erforderlich.

Besonders bestrebte man, diese zweite Pumpe zu vermeiden und so die Anlage einfacher zu gestalten. Man erreichte dies auch, indem man ein sauerstoffreiches Wasser direkt an die Grundwasserentnahmestelle führte. Es fand dann die Enteisenung bereits im Brunnen statt. Jedoch diese Methode mußte zu großen Nachteilen führen, indem durch die Ablagerungen des Eisenschlammes in der Nähe der Entnahmestelle die Durchlässigkeit des Bodens beeinträchtigt wurde und schließlich der Brunnen überhaupt kein Wasser mehr gab.

Als in jeder Richtung erfolgreich können neuere Versuche von Darapsky bezeichnet werden, nach dessen Verfahren die Enteisenung durch Belüftung in geschlossenen Kiesfiltern, welche in die Druckleitung eingeschaltet sind, vorgenommen wird. Die auf Grund der Versuchsergebnisse von der Firma Dessenis & Jacoby, Hamburg, auf den Markt gebrachten Apparate sind äußerst kompendiös und einfach in der Handhabung. Sie beruhen auf der Kombination der Wasserpumpe mit einer Luftpumpe, so daß gleichzeitig Wasser in Verbindung mit einer gewissen Menge Luft in den Behälter gelangt. Der Behälter selbst ist mit Kies gefüllt, welcher in einer bestimmten Menge und Körnung verwandt werden muß. Der Apparat kann sowohl zwischen das Saug-

rohr als auch zwischen das Druckrohr geschaltet werden. Die Fig. 40 zeigt eine derartige Anordnung. Die Figur läßt auch die einfache und zweckmäßige Anordnung des Ganzen erkennen. Derartige Anlagen lassen sich auch im großen durchführen. Die Aufgaben, die sich mit Hilfe dieser Anlagen lösen lassen, bestehen 1. in der Möglichkeit, direkt reines, vom Eisen befreites Wasser aus dem Brunnen heraufzuholen; 2. jede beliebige Menge Wasser vom Eisengehalt zu befreien. Der Antrieb der Pumpen kann dabei sowohl von Hand als auch durch Kraftbetrieb erfolgen; 3. jeden beliebigen Grad der Enteisenung bis zur völligen Befreiung von Eisen zu erreichen. Das Wesen der Apparate beruht auf der richtigen Bemessung des Verhältnisses, in welchem Luft und Wasser gemischt werden, sowie auf der richtigen Wahl des Filtermaterials, Höhe der Filterschicht und Geschwindigkeit des durchfließenden Wasserstromes. Wie die Figur erkennen läßt, ist auch eine Vorrichtung getroffen, um das Filtermaterial durch Rückspülung reinigen zu können. Es geschieht dies durch

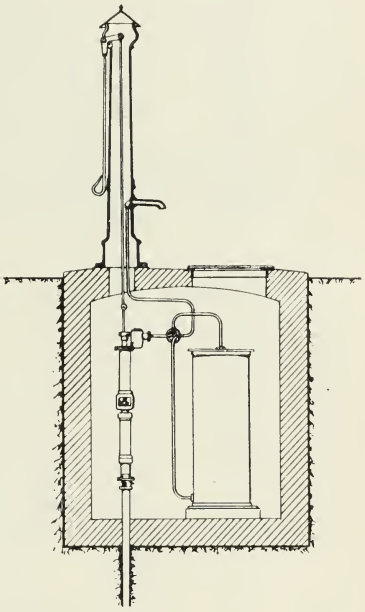


Fig. 40.

Umstellen des im Schnitt gezeichneten Vierwegehahnes.

Ein ähnliches geschlossenes Enteisenungssystem baut auch die Firma Halvor Breda, Berlin, und zeigt die Fig. 41 die Abbildung einer derartigen Anlage.

Die geschlossenen Enteisenungsapparate werden in die Druckleitung der Wasserpumpe eingeschaltet, welche das Wasser aus den Brunnen hebt und auf den Hochbehälter oder in das städtische Verteilungsnetz drückt. Sie stehen also unter dem Druck, der in der Wasserleitung herrscht, und müssen dementsprechend stark ausgeführt werden.

Die Luft wird mittelst eines Luftkompressors in das Rohr hineingepumpt, durch welches das Wasser in den Apparat hineintritt, und Wasser und Luft gelangen dann zunächst in einen Mischtopf, in dem Düsen und Stoßplatten angebracht sind, um eine ausgiebige Durchwirbelung und Vermischung zu erzielen. Darauf tritt das Gemisch in den großen Behälter, welcher in seinem oberen Teile mit einer Masse gefüllt ist, die einen besonderen Bestandteil des Verfahrens bildet. Die Masse hat die Eigenschaft, durchaus steril und, weil unorganischer Natur, niemals fäulnisfähig zu sein. Sie ist ferner sehr porös und scharfkandig, so daß sie dem Wasser viel Fläche bietet und eine kräftige Oberflächenwirkung ausübt.

Durch diese Masse zieht das Gemisch von Wasser und Luft langsam hindurch von unten nach oben. Oben trennt die Luft sich vom Wasser und entweicht durch ein selbsttätiges Ventil ins Freie, und das Wasser zieht durch das zentrale Rohr nach unten, um das im unteren Teile befindliche Feinkiesfilter zu durchdringen und den Eisenschlamm auf

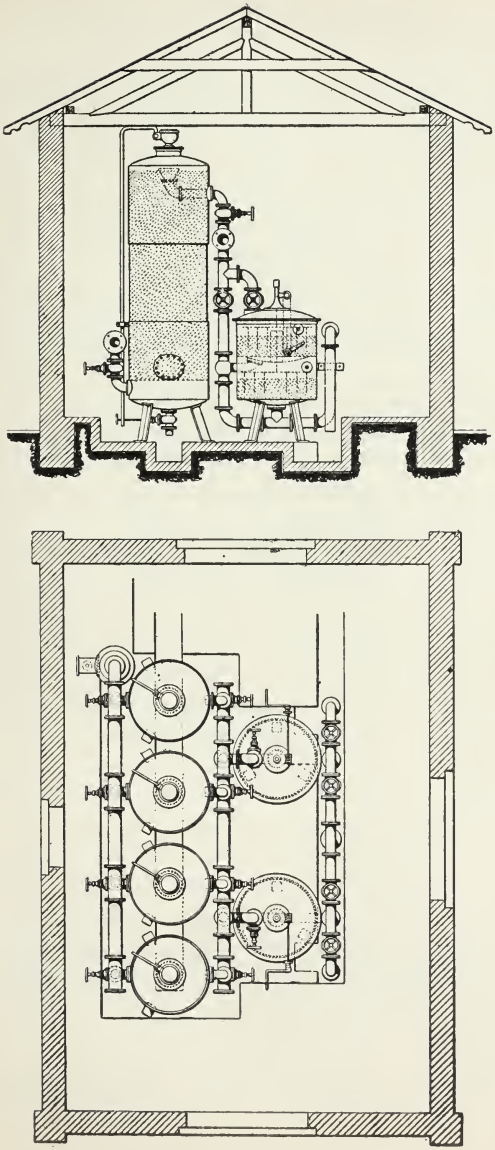


Fig. 41.

diesem zurückzulassen. An Stelle des eingebauten Filters kann auch ein selbständiges Filter daneben gestellt werden, wie in Fig. 23 veranschaulicht. Ein solches bietet den Vorteil, mit einem mechanischen Rührwerk zum Waschen versehen zu sein, wodurch die Arbeit des Reinigens abgekürzt wird.

Der Eisenschlamm lagert sich teils im Kontaktbehälter und teils auf dem Filter ab; beide müssen von Zeit zu Zeit gereinigt werden, was jedoch nur durch Spülung geschieht; eine Auswechslung des Filtermaterials ist niemals nötig, weil keinerlei Abnutzung eintritt.

Es liegt auf der Hand, daß bei dieser Einrichtung die denkbar günstigsten Verhältnisse bezüglich der hygienischen Anforderungen an ein einwandfreies Wasser vorhanden sind. Dabei ist es bereits in unparteiisch und peinlichst durchgeführten größeren Dauerversuchen festgestellt worden, daß der Apparat „System Breda“ den Eisengehalt, je nach Art der betreffenden Verbindungen, auf absolut 0 bis auf 0,1 g im Kubikmeter Wasser herunterbringt, während im allgemeinen ein Minimalgehalt von 0,3 g als das Erreichbare bei den früher bekannten Konstruktionen galt.

Eine zweckmäßige Anordnung der Enteisenung durch Belüftung gibt neuerdings Oesten an. Dieselbe unterscheidet sich von den früher besprochenen Belüftungsanlagen dadurch, daß die drei zur Enteisenung erforderlichen Vorgänge — die Durchlüftung des Wassers, die Filtration und die Aufspeicherung des gereinigten Wassers — in anderer Reihenfolge vorgenommen werden als bei den in Fig. 38 schematisch dargestellten Oestenschen Anlagen.

Bei den früheren Anlagen machten sich zwei Pumpwerke erforderlich. Die Enteisenung durch

Belüftung und die Filtration mußten gewöhnlich zu ebener Erde vorgenommen werden, wozu ein Pump-

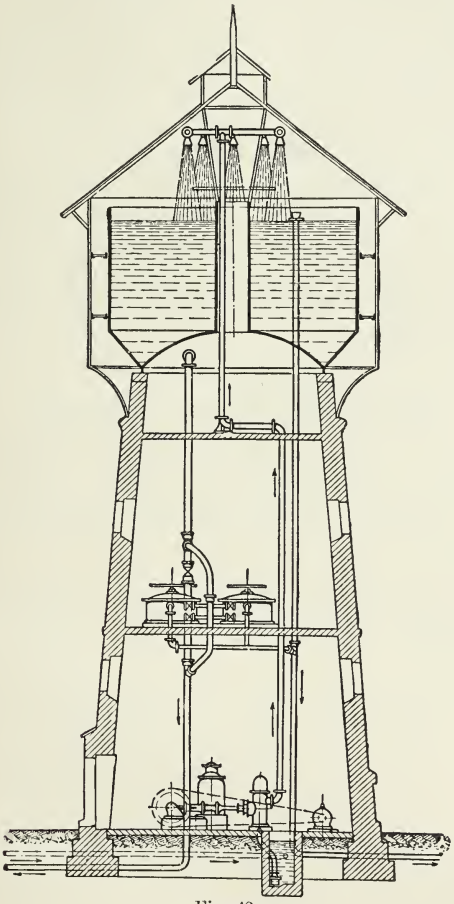


Fig. 42.

werk das Wasser zu den Rieselvorrichtungen heben mußte. Von hier aus fiel das Wasser in Regenform

hernieder und wurde dann filtriert. Nach der Filterung war es wieder zu ebener Erde angelangt, und es war nun meist ein zweites Pumpwerk erforderlich, um das gereinigte Wasser wieder auf eine derartige Höhe zu heben, damit es den Verbrauchsstellen unter gewissem Druck zufloß. Bei der neuen Anordnung wird das zu enteisnende Wasser zu den Rieselern gefördert, von welchen es in Sammelbehälter herabfällt und aufgefangen wird. Von hier aus wird es den Filtern zugeführt, welche zu ebener Erde angeordnet sein können, und gelangt dann unter genügendem Druck zu den Verwendungsstellen. Fig. 42 zeigt ein Bild einer derartigen Anordnung.

Die Enthärtung des Wassers.

Unter Enthärtung eines Wassers verstehen wir die Entfernung derjenigen im Wasser gelöst enthaltenen Stoffe, welche die Härte des Wassers verursachen.

Die Enthärtung geschieht durch entsprechend zweckmäßige chemische Behandlung, und zwar sind zwei Methoden gebräuchlich:

1. die chemische Aufbereitung des Wassers mit Ätzkalk, Ätznatron und Soda oder mit einigen der genannten Stoffe allein und
2. die chemische Aufbereitung des Wassers mit Baryt und Kalk oder mit Baryt allein.

Es gibt noch eine Reihe von Methoden, die sich aber in der Praxis nicht eingeführt haben und daher hier übergangen werden können.

Bevor nun auf die Besprechung der einzelnen Verfahren eingegangen wird, muß erst eine Erörterung

darüber vorausgehen, wodurch sich etwa im Wasser gelöste Stoffe lästig machen, bzw. welche Stoffe es sind, die vorzugsweise aus dem Wasser entfernt werden müssen. In Lösung befindlich geben die Stoffe dem Wasser eine mehr oder weniger große Härte, die für viele Betriebe das Wasser unbrauchbar macht. Scheiden sich die gelösten Stoffe aus dem Wasser aus, dann bilden sie steinähnliche Massen, die sich auf den Wänden der Behälter ablagern und oft nicht ohne Anwendung von Gewalt entfernt werden können. Besonders unangenehm wird letztere Eigenschaft im Dampfkesselbetriebe empfunden. Die sich bildende harte Kruste nennt man daher vorzugsweise Kesselstein.

Über die chemischen Vorgänge bei Ausscheidung der im Wasser gelösten Stoffe läßt sich Genaueres nicht sagen. Dieselben sind sehr komplizierter Natur und in jedem einzelnen Falle verschieden voneinander. Durch die chemische Untersuchung des gebildeten Kesselsteines erhält man allerdings einigen Aufschluß über die Vorgänge, die sich bei der Ausscheidung abgespielt haben müssen.

Die Stoffe, die vorzugsweise die Bildung fester Niederschläge verursachen, sind hierunter angeführt:

1. Doppeltkohlensaurer Kalk $CaH_2(CO_3)_2$,
2. Doppeltkohlensaure Magnesia $MgH_2(CO_3)_2$,
3. Schwefelsaurer Kalk $CaSO_4$,
4. Chlormagnesium $MgCl_2$,
5. Tonerde und Eisenverbindungen,
6. Organische Bestandteile.

Bemerkenswert ist noch, daß von den angeführten Stoffen Chlormagnesium erst bei 4 Atm. Dampfdruck und mehr in Lösung geht. Es spaltet sich hierbei in Magnesiumhydrooxyd und Salzsäure. Ersteres

trägt zur Steinbildung mit bei, letzteres kann den Kesseln durch Hervorbringen von Anfressungen schädlich werden.

Wir kommen nunmehr zur eingehenden Besprechung der Aufbereitung des Wassers vermittelst Ätzkalk, Ätznatron und Soda und erwähnen, daß die Ausscheidung eines Teiles der im Wasser gelösten Stoffe auch durch Kochen geschieht. Daher wird das obige Verfahren in der großen Mehrzahl von Fällen in Verbindung mit Einrichtungen zum Vorwärmen des Wassers angewandt.

Die chemischen Eigenschaften der erwähnten Zusätze sind die folgenden.

1. Ätzkalk $Ca(OH)_2$. Als solcher findet vorzugsweise gebrannter Kalk Verwendung, der zum Zwecke seines Gebrauches gelöscht werden muß. Er ist sehr schwer löslich und erfordert 1 Teil desselben zu seiner Lösung ca. 800 Teile Wasser. Je wärmer aber das Lösungswasser ist, desto schwerer ist er löslich. Die Zuführung von Sauerstoff während des Lösungsprozesses befördert die Löslichkeit. Eine gesättigte Kalklösung entspricht 120 Härtegraden, was 1,2 g Kalk (CaO) auf 1 l Wasser gleichkommt.

2. Ätznatron NaOH. Es ist dies im Handel in Pulverform unter dem Namen „Kaustische Soda" erhältlich und im Wasser sehr leicht löslich. Es ist verhältnismäßig teuer und ist auch nicht immer rein, da es meist etwas Soda enthält. Man stellt Ätznatron auch selbst aus Kalk und Soda her, indem man 1 kg kalzinierte Soda (von 96 %) mit 1 kg Kalk in heißer Lösung mischt. Wird die Mischung in kalter Lösung vorgenommen, dann ist eine wesentlich größere Menge Soda erforderlich, weil der sich bildende Niederschlag von $CaCO_3$ sehr groß wird.

3. Soda Na_2CO_3. Dieses ist ebenfalls im Handel erhältlich. Man verwendet kalzinierte oder Ammoniaksoda, welche einen Sodagehalt von ca. 96 % hat. Die gewöhnliche Soda hat einen sehr hohen Wassergehalt (ca. 64 %) und enthält meist auch fremde Beimischungen. Sie ist sehr leicht löslich, besonders in heißem Wasser. Man verwendet als Zusatz Lösungen von 1:10 bis 1:20.

Nach Kenntnis der Eigenschaften dieser Zusätze muß jetzt erörtert werden, in welcher Weise dieselben auf die im Wasser gelösten Stoffe wirken.

1. Doppeltkohlensaurer Kalk scheidet sich schon beim Kochen ohne Zusätze aus. Auf kaltem Wege erfolgt die Ausscheidung durch Zusatz von Ätznatron oder Kalk. Die einzelnen chemischen Vorgänge sind durch die nachfolgenden Beziehungen gekennzeichnet:

beim Kochen: $CaH_2(CO_3)_2 = CaCO_3 + H_2O + CO_2$,

durch Ätznatron: $CaH_2(CO_3)_2 + 2\ NaOH = CaCO_3 + Na_2CO_2 + 2\ H_2O$,

durch Kalk: $CaH_2(CO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2\ CaCO_3 + 2\ H_2O$.

Zu bemerken ist, daß die Fällung bei kalter Behandlung nicht vollständig erfolgt.

2. Doppeltkohlensaure Magnesia läßt sich ebenfalls durch Kochen ohne Zusätze ausscheiden. Auf kaltem Wege erfolgt die Ausscheidung ebenfalls durch Zusatz von Ätznatron oder Kalk. Die chemischen Vorgänge lassen sich durch nachfolgende Beziehungen kennzeichnen:

beim Kochen: $MgH_2(CO_3)_2 + 2\ H_2O = Mg(OH)_2 + 2\ H_2O + 2\ CO_2$.

Zu bemerken ist, daß dieser chemische Vorgang sich erst beim Kochen unter 4 Atm. Druck einstellt.

durch Ätznatron: $MgH_2(CO_3)_2 + 2\ NaOH = MgCO_3 + Na_2CO_3 + 2\ H_2O$,

$MgH_2(CO_3)_2 + 4\ NaOH = Mg(OH)_2 + 2\ Na_2CO_3 + 2\ H_2O$,

durch Kalk: $MgH_2(CO_3)_2 + Ca(OH)_2 = MgCO_3 + CaCO_3 + 2\ H_2O$,

$MgH_2(CO_3)_2 + 2\ Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + 2\ CaCO_3 + 2\ H_2O$.

3. Schwefelsaurer Kalk scheidet sich durch Zusatz von Soda auf kaltem Wege aus, und zwar nach Maßgabe der nachfolgenden Beziehung:

durch Soda: $NaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_2 + Na_2SO_4$.

Zu 1, 2 und 3 ist zu bemerken, daß bei Ausfällung des doppeltkohlensauren Kalkes und der Magnesia durch Ätzkalk, wie aus den chemischen Gleichungen (unter 1 und 2) hervorgeht, Soda Na_2CO_3 entsteht. Diese Soda kann, sofern in demselben Wasser, auch schwefelsaurer Kalk vorhanden ist, zur Fällung dieses verwandt werden. Sollte dabei die sich bei Ausfällung der doppeltkohlensauren Magnesia bildende Soda nicht genügen, dann ist der Überschuß an erforderlicher Soda extra zugegeben.

Zu 1 und 2 ist zu bemerken, daß die Ausfällung des kohlensauren Kalkes und der Magnesia auch durch Zusatz von Soda geschehen kann. Dieselbe wirkt jedoch bei kalter Behandlung etwas langsam, und geschieht die Ausfällung auch nicht vollständig.

Der chemische Vorgang gestaltet sich wie folgt:

$CaH_2(CO_3)_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2\ NaHCO_3$,

dabei ist:

$$2\,NaHCO_3 = Na_2CO_3 + H_2O + CO_2,$$
$$MgH_2(CO_3)_2 + Na_2CO_3 = MgCO_2 + 2\,NaHCO_3$$

und wieder

$$2\,NaHCO_3 = Na_2CO_3 + H_2O + CO_2.$$

4. Chlormagnesium scheidet sich durch Kochen unter 4 Atm. Druck und Zusatz von Soda aus. Man kann die Ausfällung jedoch auch durch Sodazusatz allein bewirken; dieselbe geht dann aber langsam und nicht so vollständig vonstatten. Die chemischen Vorgänge spielen sich wieder nach der hierunter folgenden Gleichung ab:

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 = MgCO_3 + 2\,NaCl.$$

5. Tonerde- und Eisenverbindungen. Dieselben werden durch Kochen ohne Zusatz ausgefällt. Auf kaltem Wege geschieht die Ausfällung durch Ätznatron oder durch Kalk. Hierbei werden die Tonerde- und Eisenverbindungen in natürliche Tonerde- und Eisenhydrooxydverbindungen übergeführt. Die Entwicklung der chemischen Gleichungen würde wegen der Mannigfaltigkeit der möglichen Verbindungen zu weit führen.

6. Organische Bestandteile. Die Ausscheidung geschieht durch Ätzkalk, Soda oder Alaun.

Die richtige Bestimmung der erforderlichen Zusatzmengen an Kalk, Soda und Ätznatron gehört mit zu den wichtigsten Aufgaben bei der Konstruktion von Wasserverbesserungsanlagen. Die einfachste und wohl beste Methode zur Bestimmung dieser Zusätze ist wohl die von Prof. Kalmann gegebene, welche in dem von Wehrenfennig verfaßten Buche: „Die Untersuchung und das Weichmachen des Kesselspeisewassers“ ausführlich behandelt ist und hier kurz angedeutet werden soll.

Nachdem das Wasser auf seine gelösten Stoffe chemisch untersucht ist, bezeichne man mit a den Gesamtgehalt an gebundener Kohlensäure, mit b den Gesamtkalk und mit c die Gesamthärte; letztere wird aus dem Gehalt an Kalk, Magnesia und Eisen bestimmt, indem die für Magnesia und Eisen an Hand der Analyse gefundenen Mengen nach den Äquivalenzwerten auf Kalk umgerechnet und zum Kalkgehalt addiert werden.

Zwischen a, b und c sowie den Zusatzmengen bestehen nun folgende Beziehungen:

$$2a - b = m \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$
$$c - a = n. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Es sind bei dem Gebrauch obiger Gleichungen drei Fälle zu unterscheiden, und zwar:

1. Bei positivem m und n sind die Karbonate des Kalkes und der Magnesia in größerer Menge im Wasser enthalten als die Sulfate. m gibt dann die Menge des zuzusetzenden Kalkes, n die des zuzusetzenden Ätznatrons an.
2. Ist $2a - b = 0$, dann sind die Mengen der Karbonate und der Sulfate im Wasser gleich. In diesem Falle gibt n die Menge des zuzusetzenden Ätznatrons an, welches aus Kalk und Soda gebildet werden kann.
3. Ist $2a - b$ negativ, dann sind die Sulfate in größerer Menge als die Karbonate im Wasser enthalten. In diesem Falle erfolgt ein Sodazusatz von m Teilen und ein Ätznatronzusatz von $c - a - m$ Teilen.

Die herausgerechneten Zusatzmengen ergeben sich in Kalkgraden und müssen nach den Äquivalenzzahlen umgerechnet werden.

Die Menge des herausgerechneten Ätznatrons kann, wie bereits früher dargetan, aus Kalk und Soda gebildet werden, indem x^0 Ätznatron gleich ist x^0 Kalk und x^0 Soda. Die aus der Gleichung 2 so gefundene Menge Kalk wird zu der sich aus Gleichung 1 ergebenden Kalkmenge addiert, und man erhält dann die ganze Menge des Kalk- und Sodazusatzes pro Liter zu enthärtenden Wassers. Die gefundene Menge wird dann noch mit der Anzahl Liter stündlicher Leistung multipliziert.

Eine andere Berechnungsweise der Zusätze beruht auf der Überlegung, daß für jedes Äquivalent von doppeltkohlensaurem Kalk- und Magnesia ein Äquivalent Kalk bzw. zwei Äquivalente Ätznatron zur Überführung in einfach kohlensaure Verbindungen erforderlich sind. Ebenso ist für jedes Äquivalent der schwefelsauren Kalk- und Magnesiaverbindungen ein Äquivalent Soda erforderlich.

Da nun nach Maßgabe der Äquivalenz

100 Teilen kohlensauren Kalkes ($CaCO_3$) 56 Teile Kalk (CaO) bzw. 80 Teile Ätznatron (NaOH),
84 Teilen kohlensaurer Magnesia ($MgCO_3$) 56 Teile Kalk (CaO) bzw. 80 Teile Ätznatron (NaOH),
136 Teilen schwefelsauren Kalkes ($CaSO_4$) 106 Teile Soda (Na_2CO_3),
120 Teilen schwefelsaurer Magnesia ($MgSO_4$) 106 Teile Soda (Na_2CO_3)

entsprechen, erhält man für den erforderlichen Kalkzusatz:

$$\frac{56\ CaCO_3}{100} + \frac{56\ MgCO_3}{84},$$

bzw. für den erforderlichen Ätznatronzusatz:

$$\frac{80\ CaCO_3}{100} + \frac{80\ MgCO_3}{84}$$

und für den Zusatz an Soda:

$$\frac{106\ CaSO_4}{136} + \frac{106\ MgSO_4}{120}.$$

Wendet man zur Fällung der kohlensauren Verbindungen Ätznatron an, dann bildet sich dabei, wie früher bereits erwähnt, Soda, und muß man die aus dem Ätznatron sich ergebende Sodamenge von der für die Ausfällung der schwefelsauren Verbindungen berechneten Sodamenge in Abzug bringen. Die bei der Behandlung mit Ätznatron gebildete Sodamenge beträgt $\frac{106}{80}$ Teile Na_2CO_3 auf 1 Teil NaOH; mithin ergeben sich bei Anwendung von Ätznatron und Soda folgende Zusatzmengen:

Ätznatron:

$$\frac{80\ CaCO_3}{100} + \frac{80\ MgCO_3}{84},$$

Soda:

$$\frac{106\ CaSO_4}{136} + \frac{106\ MgSO_4}{120} - \left(\frac{106\ CaCO_3}{100} + \frac{106\ MgCO_3}{84}\right).$$

Nachdem im vorigen die Berechnung der Zusatzmengen gezeigt worden ist, gehen wir jetzt zur Besprechung der Vorrichtungen und Apparate über, welche dazu dienen, die Zusätze in gemessenen Mengen in das zu enthärtende Wasser zu bringen. Gemäß unseren Ausführungen werden wir bei diesen Vorrichtungen vier Arten zu unterscheiden haben, die je nach der gefundenen Zusammensetzung des Wassers verschieden sind, und zwar:

1. Vorrichtungen für Zusatz von Kalk und Ätznatron,
2. Vorrichtungen für Zusatz von Ätznatron allein,
3. Vorrichtungen für Zusatz von Soda und Ätznatron,
4. Vorrichtungen für Zusatz von Kalk und Soda.

Wir können wohl die Methode unter 4 als die wichtigste für den Gebrauch bei Wasserverbesserungsanlagen bezeichnen; denn, da Ätznatron aus Kalk und Soda gebildet wird, bestehen die Vorrichtungen unter 1, 2 und 3 auch lediglich aus Einrichtungen für Kalk- und Sodazusatz. Nur in ganz vereinzelten Fällen wird man zur Anwendung käuflichen Ätznatrons greifen. Bemerkenswert ist noch die Art und Weise, wie man die zugeteilten Chemikalien mit dem Wasser mischen soll, und ist hierfür folgendes zu beachten. Soll der Apparat mit Kalk und Soda arbeiten, dann sind beide Chemikalien derart getrennt zuzuführen, daß kein Ätznatron entstehen kann. Soll der Apparat mit Kalk und Ätznatron, oder mit Soda und Ätznatron arbeiten, dann sind die zur Bildung des Ätznatrons erforderlichen Kalk- und Sodamengen zusammenzuführen, womöglich getrennt von dem sonst erforderlichen Kalk- oder Sodazusatz. Soll der Apparat nur mit Ätznatron arbeiten, dann ist der zur Bildung derselben erforderliche Kalk- und Sodazusatz so zusammenzuführen, daß sich auch Ätznatron bildet.

Es ist noch von Wichtigkeit zu erörtern, ob die eventuelle Vorwärmung des Wassers vor Zugabe der Chemikalien oder nachher zu erfolgen hat, ferner, ob eine solche überhaupt zweckmäßig ist. Für den ganzen Verlauf der Enthärtung ist die Vorwärmung

von günstigem Einfluß, weil die Einwirkung der Chemikalienzusätze auf die im Wasser gelösten Stoffe bei gewärmtem Wasser wesentlich schneller vor sich geht und auch der erreichbare Grad der Enthärtung ein größerer ist. Die Kalklösungen sind jedoch stets kalt anzusetzen, da Kalk im warmen Wasser noch schwerer löslich ist als im kalten. Ätznatron aber wird, wenn es aus Kalk und Soda gebildet werden soll, zweckmäßig in heißem Lösungswasser gebildet. Bei der Bildung von Ätznatron aus Kalk und Soda, scheidet sich ja kohlensaurer Kalk $CaCO_3$ als Niederschlag aus. Die Menge dieses Niederschlages wird bei kalter Bereitung des Ätznatrons bedeutend größer als bei warmer. Für die Bereitung der Sodalösung ist es gleichgültig, ob das Lösungswasser kalt oder warm verwandt wird, da Soda sich sehr leicht löst.

Von größter Wichtigkeit ist nun die Art und Weise, die Chemikalien dem Wasser so zuzuführen, daß immer das richtige Lösungsverhältnis vorhanden ist. Die Sache wäre ja einfach, wenn es sich in jeder Zeiteinheit um eine ganz konstante Wassermenge handeln würde, welcher die Chemikalien zuzusetzen wären. In der Praxis ist aber meist das Bedürfnis vorhanden, daß die chemischen Zusätze auch dann im richtigen Verhältnis zur Wassermenge stehen, wenn die Reinwasserentnahme während des Betriebes großen Schwankungen unterworfen ist. Außerdem verlangt die Praxis, daß trotz dieser weitgehenden Forderung die Bedienung der Wasserverbesserungsanlagen tunlichst einfach ist und wenig oder gar kein Bedienungspersonal erfordert.

Wie solche Vorrichtungen zur automatischen Zuführung der Chemikalien beschaffen sind, ist in der Fig. 43 zur Darstellung gebracht. Es gibt natürlich auch andere Systeme solcher automatischen

Zuführungen, von denen noch einige besprochen werden.

Die vorliegende wird an den Wasserreinigern der Firma F. Carnarius, Berlin, angewandt. Im nachfolgenden Beschreibung und Wirkungsweise.

Im Reinwasserbehälter befindet sich ein Schwimmer, welcher durch eine Hebelübertragung auf ein Regulierventil in der Rohrwasserzuflußleitung wirkt. Die Rohrwasserzuflußleitung führt in einen Behälter, von welchem aus die Verteilung des Rohrwassers stattfindet, und zwar fließt ein Teil rechts in ein Misch-

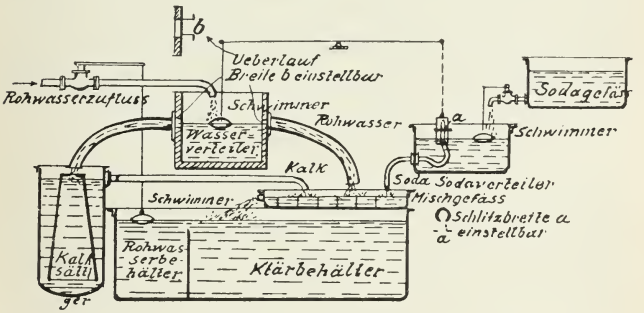


Fig. 43.

gefäß ab, während der andere Teil links zu einem Behälter geleitet wird, in welchem gesättigtes Kalkwasser bereitet wird. Die beiden Überfallöffnungen im Wasserverteiler sind derartig eingerichtet, daß durch senkrechte verstellbare Platten die Überfallhöhe und damit die überfallende Wassermenge reguliert werden kann.

In den Kalkwassersättiger wird Kalk eingebracht, und fließt das gesättigte Kalkwasser vom Kalksättiger durch eine Rohrleitung oben am Kalksättiger zum Mischgefäß über. Ganz rechts oben ist ein Behälter

angeordnet, der zur Aufnahme der Sodalösung dient. Die Sodalösung wird in diesem Gefäß in größerer Menge angesetzt, und dient das Sodagefäß als Vorratsbehälter für die Sodalösung. Dieselbe fließt durch eine Rohrleitung in einen tiefer liegenden Behälter, der als Sodaverteiler dient und seinerseits einen Ausfluß hat, welcher zum Mischbehälter führt. Im Sodaverteiler befindet sich angeschlossen an seinen Ausfluß und auf und ab beweglich eine Reguliervorrichtung für die Menge der Sodalösung, welche durch einen Schwimmer im Wasserverteiler und entsprechende Übertragung betätigt wird. In der Rohrleitung vom Sodagefäß zum Sodaverteiler befindet sich ferner ein Regulierventil, welches durch einen Schwimmer im Sodaverteiler betätigt wird und den Zweck hat, die Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Sodaverteiler stets auf konstanter Höhe zu halten.

Die Wirkungsweise der Vorrichtnng ist die folgende. Je nach der Menge der Reinwasserentnahme wird der Wasserspiegel im Reinwasser- und Klärbehälter steigen oder fallen und somit auch der Schwimmer die entsprechenden Bewegungen mitmachen. Der Schwimmer beeinflußt den Rohwasserzufluß in der Weise, daß bei sinkendem Wasserspiegel im Reinwasserbehälter der Rohwasserzufluß mehr geöffnet wird und bei steigendem Wasserspiegel im Reinwasserbehälter der Rohwasserzufluß entsprechend gedrosselt wird. Durch diese veränderliche Gestaltung des Rohwasserzuflusses wird auch der Wasserspiegel im Wasserverteiler steigen oder fallen, je nachdem mehr oder weniger Rohwasser zufließt, und es wird naturgemäß entsprechend dem höheren oder tieferen Wasserstand im Wasserverteiler mehr oder weniger Rohwasser durch die Überfälle zum Kalksättiger bzw. Mischgefäß hinfließen. Es

wird also auch aus dem Kalksättiger entsprechend dem größeren oder geringeren Rohwasserzufluß auch entsprechend eine größere oder geringere Menge Kalkwasser zum Mischgefäß überfließen.

Im Wasserverteiler befindet sich ein Schwimmer, welcher die Bewegungen des steigenden und fallenden Wasserspiegels mitmacht. Dieser Schwimmer überträgt seine Bewegung auf ein im Sodaverteiler befindliches Eintauchventil, welches durch einen beweglichen Gummischlauch mit der Sodazuleitung vom Sodaverteiler zum Mischgefäß verbunden ist. Je nachdem das Eintauchventil tiefer oder weniger tief in die Sodalösung eintaucht, fließt eine größere oder geringere Menge Sodalösung zum Mischgefäß. Erhöht sich also der Rohwasserzufluß zum Wasserverteiler, so erhöht sich auch der Sodazufluß zum Mischgefäß. Das Eintauchventil im Sodaverteiler hat einen Schlitz, welcher in irgendeiner Weise einstellbar ist, so daß man den Sodaübertritt für eine bestimmte Wassermenge einregulieren kann. Damit nun immer die richtige, dem Rohwasserzufluß entsprechende Menge Sodalösung zum Mischbehälter gelangt, ist es Bedingung, daß der Flüssigkeitsspiegel im Sodaverteiler stets gleiche Höhe hat. Dies wird durch einen Schwimmer im Sodaverteiler bewirkt, der ein Ventil in der Zuleitung vom Sodagefäß beeinflußt. Fällt im Sodaverteiler der Flüssigkeitsspiegel, dann sinkt der Schwimmer und öffnet den Auslaß am Sodagefäß. Die Sodalösung fließt dann so lange zu, bis der richtige Flüssigkeitsstand erreicht ist, worauf der Schwimmer das Ventil am Sodagefäß wiederum schließt.

Wie erkennbar, arbeitet die Vorrichtung vollkommen automatisch und bedarf keinerlei Bedienung. Erfordernis ist nur, daß sie für eine bestimmte

Wassermenge von Anfang an richtig eingestellt wird. Die erforderlichen Zusätze werden in bestimmten Zeiträumen (etwa alle 6 Stunden) in der Weise beigegeben, daß in den Kalkwassersättiger eine bestimmte Menge Kalk eingebracht wird, die im Überschuß gegeben werden kann, und daß im Sodagefäß eine ausreichende Menge Sodalösung von bestimmtem Lösungsverhältnis angesetzt wird.

Im Prinzip zeigt uns ja die besprochene Vorrichtung, in welcher Weise die Chemikalien automatisch zugeführt werden. Wir gehen nun dazu über, die einzelnen dazugehörigen Apparate in der Verschiedenheit ihrer Konstruktion zu betrachten. Als solche werden wir zu betrachten haben: die Vorrichtungen zur Herstellung gesättigten Kalkwassers, die Wasserverteilung und die Sodazusatzvorrichtung.

Die Vorrichtungen für Herstellung gesättigten Kalkwassers.

Eine der wichtigsten und für den Konstrukteur von Wasserverbesserungsanlagen schwierigsten Aufgaben ist die Schaffung geeigneter Apparate zur Herstellung gesättigten Kalkwassers. Kalk ist im Wasser sehr schwer löslich, und in dieser Eigenschaft des Kalkes ist die Schwierigkeit der Aufgabe begründet.

Es sind hauptsächlich drei Systeme zur Herstellung gesättigten Kalkwassers, welchen wir in der Praxis begegnen, und zwar finden wir:

1. Vorrichtungen, welche auf rein mechanischem Wege ein gutes Mischen und Auslaugen des Kalkes im Wasser herbeizuführen bestrebt sein sollen;

2. Vorrichtungen, welche hydraudisch derart wirken, daß Mischung und Auslaugen des Kalkes durch die Strömungsenergie und Wirbelbildung des Wassers bewirkt wird, und
3. Vorrichtungen, welche auf der Zuführung von Luft beruhen, welche durch ihren Sauerstoffgehalt den Lösungs- und Auslaugungsprozeß des Kalkes im Wasser fördert.

Schließlich wendet man noch einige wirksame Kombinationen obiger drei Systeme an, von welchen besonders eine Kombination von 2. und 3. Erwähnung verdient.

Als Beispiel einer rein mechanischen Vorrichtung zur Herstellung gesättigten Kalkwassers ist in Fig. 44 der Apparat „System Desrumaux“ zur Darstellung gebracht. Das Rohwasser tritt hier zunächst aus einem Hochbehälter oder der Wasserleitung kommend in ein geschlossenes Gehäuse, in welchem sich ein Turbinenrad befindet, und treibt dieses durch seinen Druck an. Es läuft dann vom Turbinengehäuse in den Mischbehälter ab. Die in Drehung versetzte Turbine treibt durch Zahnradübersetzung ein im Kalkwassersättiger befindliches Rührwerk an, welches aus einem mit Flügel versehenen Rade und mehreren Rührarmen am Boden des Sättigungsgefäßes besteht. Der zu lösende Kalk wird in eine oberhalb des Sättigers befindliche Vorlage gebracht, von wo er nach Lösung durch ein Abfallrohr in den unteren Teil des Sättigers gelangt. Hier bringen die sich drehenden Rührarme das Kalkwasser in gründliche Bewegung und führen so eine ausgiebige Sättigung des Kalkwassers herbei. Das zur Erzeugung der Kalkwasserlösung erforderliche Wasser fließt dem Sättiger von einem Behälter zu, welcher oberhalb des Turbinen-

gehäuses angebracht ist. Der sich bildende Schlamm wird durch einen Schlammablaß am Boden des Kalkwassersättigers entfernt.

Eine ähnliche Vorrichtung, die ebenfalls auf dem mechanischen Antrieb von Rührflügeln beruht, deren

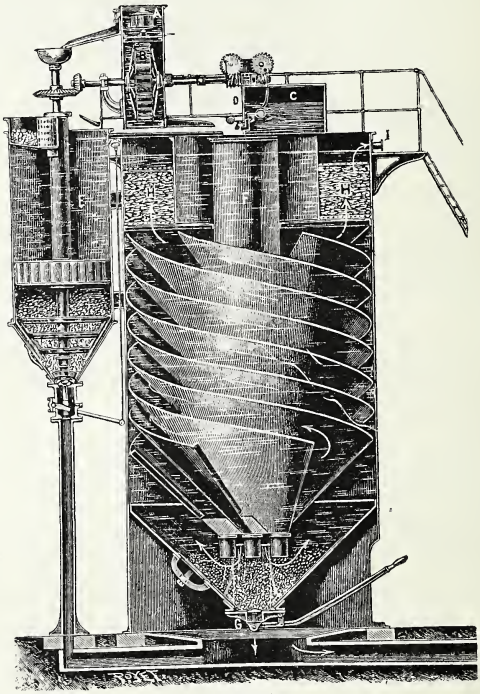


Fig. 44.

Antrieb durch Wasserturbine erfolgt, zeigt die Fig. 45, eine Ausführung der Allgemeinen Städtereinigungsgesellschaft, Wiesbaden.

Die hydraulischen Vorrichtungen zur Bereitung gesättigten Kalkwassers beruhen auf der Strömungs-

energie des in den Sättiger eintretenden Wassers. Eine solche wird am besten dadurch erreicht, daß man das Wasser unter höherem Druck in den Kalkwassersättiger eintreten läßt. Damit die Strömungsgeschwindigkeit eine möglichst große und wirksame wird, macht man das Sättigungsgefäß selbst nach unten hin konisch. Der Kalk wird in die Vorlage

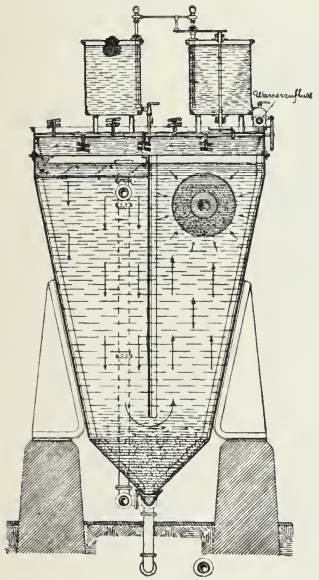


Fig. 45.

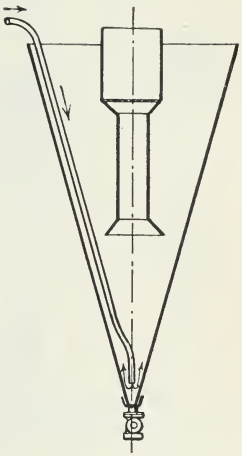


Fig. 46.

am oberen Ende des Sättigers gaschüttet, fällt dort durch das Sieb, dem aufsteigenden Wasser entgegen und wird dadurch ausgelaugt. Den sich bildenden Kalkschlamm läßt man am Boden des Sättigers ab (Fig. 46).

Andere hydraulische Vorrichtungen, die ebenfalls zur Bereitung gesättigten Kalkwassers dienen, be-

stehen darin, daß man den Wasserstrom am Boden des Kalksättigers tangential am Umfang eintreten läßt; dadurch entsteht eine recht wirksame Wirbelbewegung des Wassers, welche der Auslaugung des Kalkes förderlich ist.

Ähnlich wie bei Besprechung der mechanischen Klärung des öfteren dargetan, bringt man in die Kalksättiger auch eine Anzahl von schrägen Blechen, welche die Richtung des durchfließenden Wasserstromes öfters ändern und so eine gute Mischung zwischen Kalk und Wasser herbeiführen sollen.

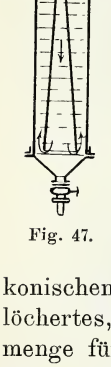


Fig. 47.

Zu den hydraulischen Vorrichtungen, zur Herstellung gesättigten Kalkwassers, gehören auch solche, bei welchen ein energisches Mischen des Kalkes mit dem Wasser bereits in der Kalkvorlage erfolgt. Ein Beispiel hierfür bietet die in Fig. 47 dargestellte Konstruktion.

Hierher gehört auch die Vorrichtung, welche O. Smrecker, Mannheim, an seinen Apparaten anwendet. Dieselbe ist in der Fig. 48 zur Darstellung gebracht. Der Kalkwassersättiger besteht hier aus zwei ineinandersteckenden Gefäßen. In den konischen Innenbehälter wird ein siebartig durchlöchertes, eimerartiges Gefäß gestellt, welches die Kalkmenge für einen Tag enthält. Die gemessene Menge Wasser tritt durch ein Ventil und durch ein Rohr, welches zum Boden des Innenbehälters führt, so daß das Wasser den Kalk von unten her durchdringt und auslaugt. Vom Innenbehälter führt ein Überlaufrohr zum Boden des Außenbehälters. Die aus dem Innenbehälter gesättigt überlaufende Kalklösung steigt im Außenbehälter langsam auf und tritt durch eine Rohrleitung zum Mischraum des Reinigers.

Es erübrigt noch die Besprechung der pneumatischen Vorrichtungen zur Erzeugung gesättigten Kalkwassers. Wie schon bemerkt, ist der Kalk unter Zutritt von Luft leichter löslich, und diesen Umstand hat man sich für die Konstruktion von Kalkwassersättigern zunutze gemacht.

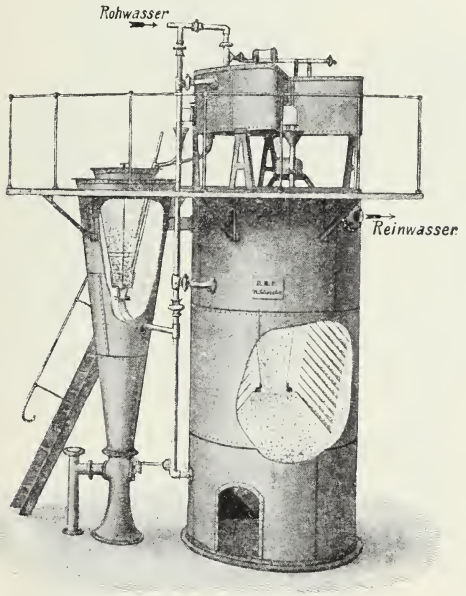


Fig. 48.

Die Art und Weise, wie man die Luft in den Kalkwassersättiger hineinbringt, ist besonders bemerkenswert. Es wird die Vorkehrung getroffen, daß die Luft durch einen schnell fließenden Wasserstrom mitgerissen wird. Es wird also gewissermaßen die Wirkung der vorhin besprochenen hydrau-

lischen Vorrichtungen durch ihre Kombination mit pneumatischen gesteigert.

Fig. 49 zeigt einen Apparat mit einer derartigen Vorrichtung. Vom Rohwasserverteiler *b* führt ein Rohr in ein senkrechtes Abfallrohr, welches nach unten bis

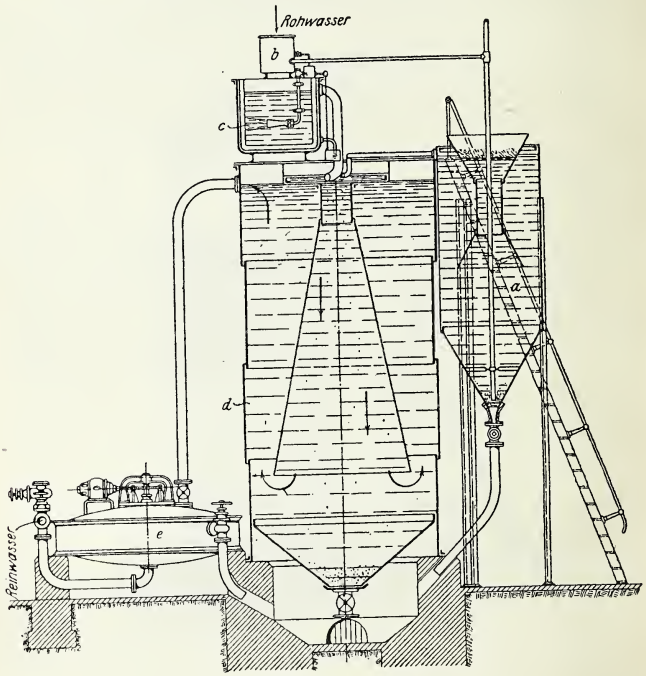


Fig. 49.

zum Boden des Kalkwassersättigers ragt und nach oben über die Höhe des Wasserspiegels im Wasserverteiler *b* verlängert ist. Die Wirkungsweise ist die, daß durch das vom Rohwasserverteiler zum Boden des Kalksättigungsgefäßes fließende Wasser aus der oberen

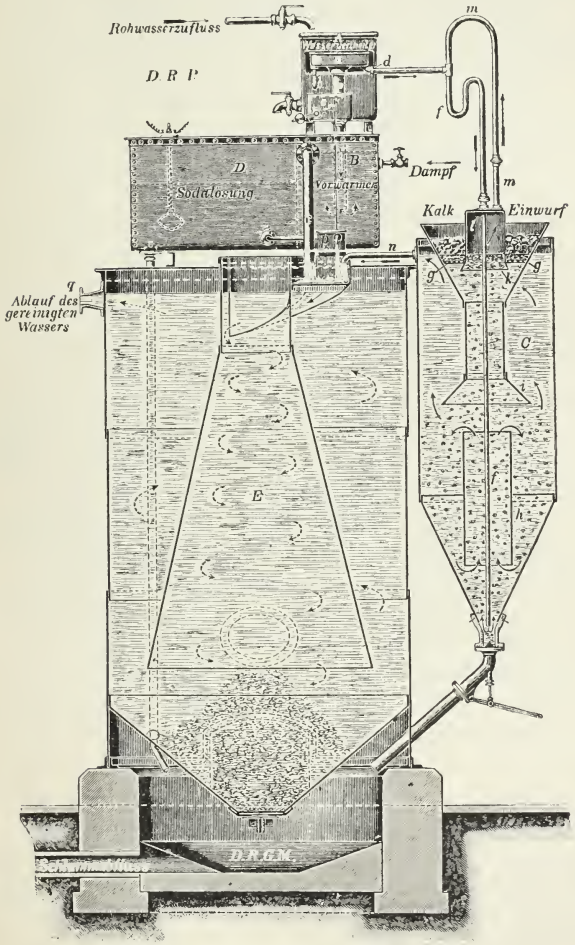

Rohwasserzufluss
D R P
d
m
r
D
Sodalösung
B
Vorwärmer
Dampf
m
Kalk
Einwurf
n
g
g
q
Ablauf des gereinigten Wassers
C
E
h
D.R.G.M.

Fig. 50.

Verlängerung des Abfallrohres Luft angesaugt wird, die zum Boden des Kalkgefäßes geführt wird und von hier dem aus der Kalkvorlage herabfallenden Kalk entgegentritt.

Eine wesentliche Verbesserung der in Fig. 47 dargestellten Luftzuführung zeigt Fig. 50, angewandt an dem Apparat von L. & C. Steinmüller in Gummersbach. Hier tritt das Wasser vom Rohwasserverteiler in eine vollkommen geschlossene Rohrleitung, die mit ihrem einen Ende auf den Boden des Kalksättigers reicht und mit ihrem anderen Ende mit einer Glocke *l* verbunden ist, welche in die Kalkvorlage eintaucht. Der Kalk wird in den Trichter außerhalb der Glocke eingebracht und fällt durch ein Siebblech und Einsatzrohr zum Boden des Kalksättigers. Hier tritt ihm das von *d* kommende Wasser, welches durch Rohr *f* nach dem Boden des Kalksättigers geführt wurde, und welches genau so, wie oben beschrieben, durch seine Strömungsgeschwindigkeit von *m* aus Luft ansaugt, entgegen und laugt ihn vollständig aus. Das gesättigte Kalkwasser tritt dann durch Rohrleitung *n* zum Mischbehälter des Reinigers über. Das Rohr *m*, aus welchem die Luft angesaugt wird, steht mit der Glocke *l* in Verbindung. Hier sammelt sich der für die Kalkwassersättigung nicht verbrauchte Sauerstoff sowie der Sauerstoff, welchen das Wasser im Überschuß mit sich führt. Die Vorrichtung hat gegenüber der in Fig. 49 beschriebenen den Vorteil, daß durch den ständigen Kreislauf desselben Luftquantums diese allmählich sehr reich an Sauerstoff wird, wodurch ihre Einwirkung auf die Lösung des Kalkes eine bedeutend bessere wird.

Außer den besprochenen Vorrichtungen zur Erzeugung gesättigten Kalkwassers gibt es auch noch

solche, welche mit Kalkmilch arbeiten. Das Verfahren hat seine Vorteile, da man in der Lage ist, sich die Kalkmilch in bestimmter und bekannter Zusammensetzung zu bereiten, die man dann in genau dosierten Mengen dem Wasser zusetzen kann.

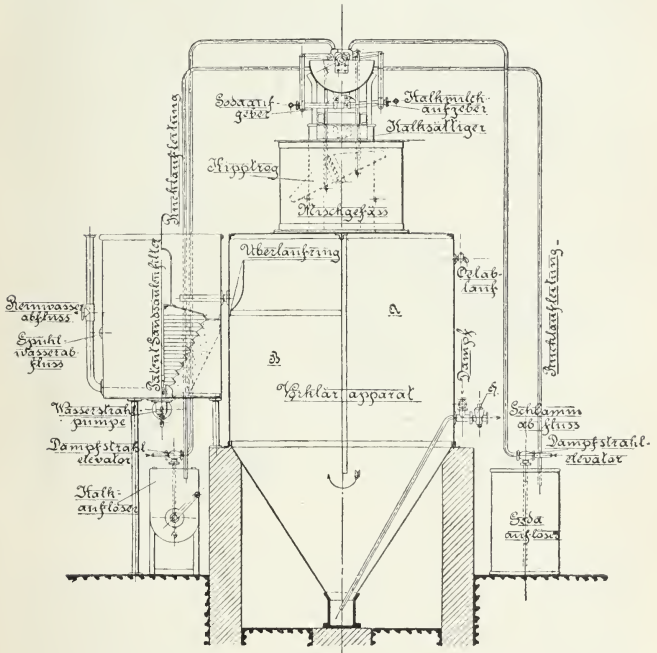


Fig. 51.

Die Fig. 51 zeigt eine solche Vorrichtung an einem Apparat der Firma Schumann & Co., Leipzig-Plagwitz. Besonders bemerkenswert an derselben ist die Art und Weise, wie Kalk und Soda zugesetzt werden. Nachdem der Kalk in einem am Boden stehenden Kalkauflöser gelöst ist, wird die ent-

standene Kalkmilch durch einen Dampfelevator in einen Kalkmilchaufgeber gebracht, welcher am Boden ein durch eine Hebelvorrichtung betätigtes Ventil hat. Die Hebelvorrichtung wird durch einen Kipptrog betätigt, der unterhalb des Kalkmilchaufgebers drehbar gelagert ist, und in welchen das Rohwasser eintritt. In derselben Weise ist die Vorrichtung für die Sodazufuhr konstruiert, und steht dieselbe durch Hebelübersetzung ebenfalls mit dem Kipptrog in Verbindung.

Die Wirkungsweise ist nun die folgende: Vom Rohwasserverteiler gelangt das Rohwasser in den

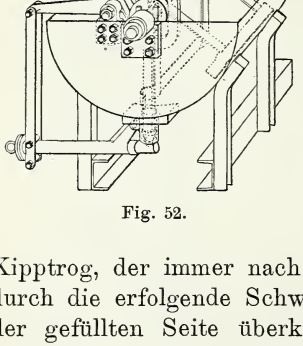


Fig. 52.

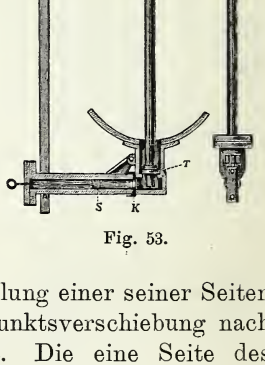


Fig. 53.

Kipptrog, der immer nach Füllung einer seiner Seiten durch die erfolgende Schwerpunktsverschiebung nach der gefüllten Seite überkippt. Die eine Seite des Kipptroges betätigt das Ventil im Kalkmilchaufgeber, die andere Seite das Ventil im Sodaaufgeber. Durch die pendelnde Bewegung des Kipptroges bei Rohwasserzufluß wird nun abwechselnd das Ventil im Kalkmilchaufgeber und im Sodaaufgeber geöffnet und eine gemessene Menge Kalkmilch bzw. Sodalösung in den gemeinsamen Mischbehälter gelassen. Je nach der Menge des Rohwasserzuflusses füllen sich die

Abteilungen des Kipptroges langsamer oder schneller, und erfolgt somit der Wechsel der Aufgabevorrichtungen in größeren oder kleineren Zeitintervallen.

In Fig. 52 und 53 sind noch einige Details der Zubringevorrichtungen dargestellt, und zwar zeigt Fig. 52 den Kalkmilchaufgeber in perspektivischer Darstellung. Es befindet sich oben eine drehbare Welle, welche einerseits die zum Kipptrog führenden Hebel, anderseits die Betätigung des Ventiles erkennen läßt. An der Welle ist außerdem ein Rührwerk befestigt, welches die Kalkmilch bei jeder Bewegung aufrührt und verhüten soll, daß sich Kalk ausscheidet.

Fig. 53 zeigt noch die Kombination der Ventilbewegung mit einer regulierbaren Zumeßvorrichtung. Diese letztere besteht aus einer Röhre, in welcher ein Kolben schließend bewegt werden kann. Öffnet sich durch die Hebelbewegung das Ventil, dann senkt sich die Meßröhre und füllt sich bis zum Kolben mit Kalkmilch bzw. Sodalösung. Wird durch die Bewegung des Kipptroges das Ventil geschlossen, dann hebt sich die Meßröhre und läßt ihren Inhalt in das Mischgefäß laufen.

Es erübrigt noch einiges über die Dimensionen der Kalkwassersättiger zu sagen, bevor wir dieses Kapitel schließen. Man nimmt die Höhe derselben möglichst groß an, um sicher zu sein, daß das erzeugte Kalkwasser vollkommen klar überfällt. Die Aufsteiggeschwindigkeit des gesättigten Kalkwassers nimmt man zu 0,2 mm pro Sekunde an. Die Kalkvorlage wird derartig dimensioniert, daß eine für den Tagesbetrieb genügende Menge Kalk aufgegeben werden kann. Die Zuflüsse und Abflüsse sowie Rohrleitungen werden möglichst reichlich dimensioniert, ebenso der Schlammablaß.

Vorrichtungen für den Sodazusatz.

Die Bereitung der Sodalösung ist sehr einfach und macht keine Schwierigkeiten. Meist besteht die Sodazubringvorrichtung aus einem größeren Vorratsbehälter, in welchem die Sodalösung bereitet wird, und aus einem Gefäß, von welchem aus sie automatisch je nach der Menge des zum Apparat fließenden Rohwassers zugemessen wird.

Die in der Fig. 43 gezeigte Ausführung ist eine sehr brauchbare.

Auch die in Fig. 51 dargestellte Methode, durch Betätigung eines Kipptroges den Sodazusatz zu bewirken, findet öfters Anwendung.

Über die Konstruktion der Sodazuführung ist zu sagen, daß der Vorratsbehälter so groß bemessen wird, um genügend Sodalösung für einen Betriebstag aufzunehmen. Im übrigen muß dafür gesorgt werden, daß alle Abschlußorgane der Sodazuführung leicht beweglich sind und gut dichten.

Als Soda verwendet man zweckmäßig die calzinierte Soda, welche einen Sodagehalt von ca. 96% hat. Man kann natürlich auch gewöhnliche Soda nehmen; dieselbe hat aber einen sehr hohen Wassergehalt.

Vor der Inbetriebnahme ist die Sodavorrichtung genau nach den verschiedenen Wassermengen einzustellen.

Vorrichtungen für den Zusatz von Ätznatron.

Hierfür können dieselben Vorrichtungen wie für den Sodazusatz Anwendung finden. Sowohl die Sodalösung als auch die Ätznatronlösung werden am besten mit heißem Wasser bereitet. Soll das Ätznatron für

den Zusatz selbst bereitet werden, dann mischt man 1 kg Soda mit $^1/_2$ kg Kalk in heißem Wasser. Der Kalk kann dabei im Überschuß gegeben werden, und kann man auf 1 kg Soda bis zu 1 kg Kalk nehmen. Der Zusatz dieser selbsthergestellten Ätznatronlösung geschieht dann in derselben Weise wie der Zusatz von Sodalösung.

Man kann auch, wenn es sich darum handelt, Ätznatron in Verbindung mit Kalk oder in Verbindung mit Soda zuzugeben, auf das Kalk-Sodaverfahren zurückgreifen, indem der Kalkzusatz und der Sodazusatz entsprechend bemessen werden und erst im Mischbehälter die Bildung des Ätznatrons angestrebt wird.

Die Vorwärmung.

Wie schon früher hervorgehoben, geschieht die Einwirkung der chemischen Zusätze auf das Wasser meist schneller, wenn das Wasser angewärmt wird. Diese Vorwärmung geschieht meist in den bekannten Vorwärmeapparaten; sie kann aber auch durch Zuführung direkten Dampfes geschehen. Sofern von einer Dampfmaschine Abdampf in genügender Menge zur Verfügung steht, kann auch dieser benutzt werden.

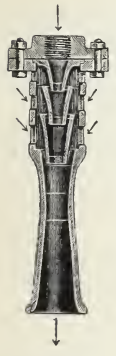


Fig. 54.

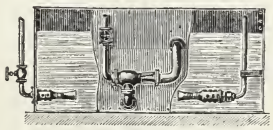


Fig. 55.

Bei der Zuführung direkten Dampfes muß dafür gesorgt werden, daß die Flüssigkeit gut zirkuliert, damit das Anwärmen schnell und ohne große Ver-

luste vor sich geht. Es muß auch das bei der Zuführung direkten Dampfes zum Wasser so oft unangenehm empfundene Geräusch vermieden werden. In dieser Hinsicht leisten die in Abb. 54 und 55 (S.121) dargestellten Anwärmeapparate außerordentlich gute Dienste.

Die durch den Dampf auf die Flüssigkeit übertragbare Wärmemenge bestimmt sich an der Hand der nachfolgenden Gleichung:

$$M = Q \cdot s\,(t_1 - t_0), \text{ in WE},$$

wenn bedeutet:

M = übertragbare Wärmemenge,
Q = Gewicht der zu erwärmenden Flüssigkeit,
s = spezifische Wärme der Flüssigkeit,
t_1 = Temperatur der Flüssigkeit, die erzielt werden soll,
t_0 = Anfangstemperatur der Flüssigkeit vor der Erwärmung.

Hat man aus obiger Gleichung die Wärmeeinheit berechnet, dann ergibt sich das erforderliche Dampfgewicht, indem man durch die Gesamtwärme von 1 kg Dampf unter Berücksichtigung seiner Spannung abzüglich der mittleren Flüssigkeitstemperatur dividiert, und man erhält, wenn mit

D = Dampfgewicht in kg,
W = die Gesamtwärme von 1 kg Dampf bezeichnet wird:

$$D = \frac{Q \cdot s\,(t_1 - t_0)}{W - \frac{t_1 - t_0}{2}}.$$

Zieht man es aus irgendeinem Grunde vor, die Flüssigkeit durch Heizschlangen anzuwärmen, dann

gibt es auch hierfür zahlreiche geeignete Konstruktionen. Es ist hierbei besonders die Frage von Wichtigkeit, welche Art der Wärmeübertragung die günstigere ist, ob es besser ist, Dampf und Flüssigkeit in gleicher Richtung aneinander vorbeiströmen zu lassen, oder ob die entgegengesetzte Strömungsrichtung vorzuziehen ist.

Die Gleichung für die übertragbare Wärmemenge ist:

$$M = Q \cdot s_1 (t_1 - t_0) = Q_1 s_2 (t_1' - t_0'),$$

wenn bedeutet:

M = Wärmemenge,
Q = Menge der zu erwärmenden Flüssigkeit,
s_1 = spezifische Wärme dieser Flüssigkeit,
t_1 = Austrittstemperatur der erwärmten Flüssigkeit,
t_0 = Eintrittstemperatur der Flüssigkeit,
Q_1 = aufzuwendende Dampfmenge,
s_2 = spezifische Wärme des Dampfes,
t_1' = Eintrittstemperatur des Heizdampfes,
t_0' = Austrittstemperatur des Heizdampfes bzw. Kondenswassers.

Aus t_1, t_0, t_1' und t_0' berechnet sich der mittlere Temperaturunterschied, welcher mit D_m bezeichnet werde. Es ist dann auch

$$M = H \cdot k \cdot D_m$$

worin bedeutet:

H = Heizfläche des Heizkörpers,
k = Wärmetransmissionskoeffizient.

Wie die Temperaturen zwischen Heizmittel und zu erwärmender Flüssigkeit sich während des Vorwärmens sowohl bei Gleichstrom als auch bei Gegen-

strom ändern, ist in Fig. 56 veranschaulicht. Es ist dort A die Kurve der Temperaturänderung des Heizmittels, das mit der Anfangstemperatur t_1' eintritt und mit der Endtemperatur t_0' austritt. B ist die Kurve, welche den Verlauf der Temperaturänderung der zu erwärmenden Flüssigkeit für den Fall darstellt, daß sich Heizmittel und Flüssigkeit im Gleichstrom aneinander vorbei bewegen. Die Eintrittstemperatur der Flüssigkeit ist t_{1g}, die Austrittstemperatur t_{0g}. Endlich ist C die Curve, welche den Verlauf der Temperaturänderung der zu erwärmenden Flüssigkeit für den Fall darstellt, daß sich Heizmittel und Flüssig-

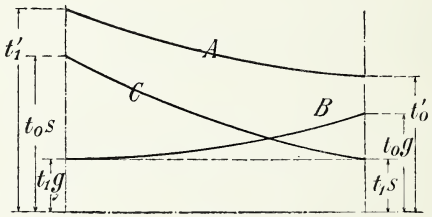


Fig. 56.

keit im Gegenstrom aneinander verbei bewegen. Die entsprechende Eintrittstemperatur ist t_{1s} und die Austrittstemperatur t_{0s}.

Aus den vorigen Gleichungen und den Kurven lassen sich nun folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Ablauftemperatur der erwärmten Flüssigkeit t_{0g} ist bei Verwendung von Gleichstrom kleiner als die niedrigste Temperatur t_0' des Heizmittels; bei Verwendung von Gegenstrom ist t_{0s} kleiner als die höchste Temperatur t_1' des Heizmittels. Es läßt sich also durch Verwendung von Gegenstrom eine höhere

Erwärmung der Flüssigkeit erzielen, als durch Verwendung von Gleichstrom möglich ist.

2. Die Berechnung der mittleren Temperaturdifferenz D_m ergibt für Gleichstrom einen größeren Wert als für Gegenstrom. Daraus folgt, daß die Heizfläche bei Verwendung von Gleichstrom kleiner wird als bei Verwendung von Gegenstrom.
3. Die Ablauftemperatur bei Verwendung von Gleichstrom ist niedriger als die bei Verwendung von Gegenstrom erzielte. Es folgt daraus, daß bei gleichen Ablauftemperaturen der Verbrauch an Heizdampf für Gleichstrom ein größerer sein wird als für Gegenstrom.

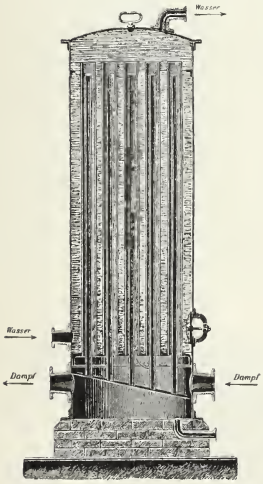


Fig. 57.

Fig. 58.

Je nachdem, was man erreichen will, wird man Gleichstrom oder Gegenstrom wählen. Zur Veranschaulichung derartiger Apparate ist in Fig. 57 ein

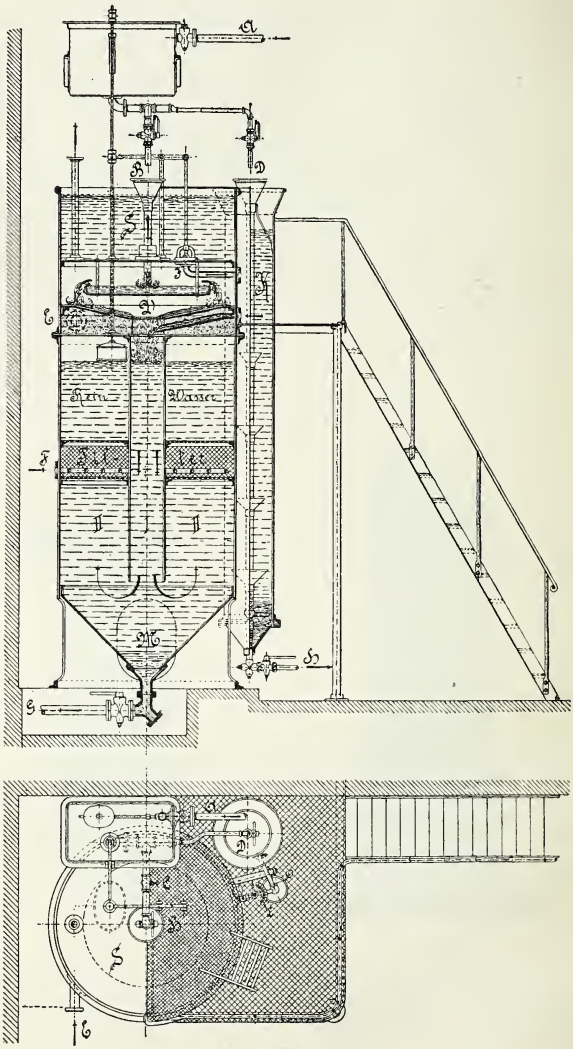


Fig. 59a.

Gleichstromvorwärmer und in Fig. 58 ein Gegenstromvorwärmer gezeigt. Ersterer ist von der Firma Willmann, Dortmund, letzterer von der Firma Hoffmannswerk, G. m. b. H., Leuben-Dresden. Die Apparate werden in den verschiedensten Ausführungsformen gebaut. Es würde aber zu weit vom Thema ablenken, wenn alle diese Konstruktionen besprochen werden sollten.

Die Vorwärmung wird, wie schon erwähnt, auch in den Enthärtungsapparaten selbst vorgenommen. Besonders geschieht dies, wenn die Verwendung von Abdampf zum Vorwärmen gewählt wird. In der Fig. 59a und b ist ein Apparat von der Firma Carl Morgenstern, Stuttgart, dargestellt. Derselbe besteht aus zwei zylindrischen Gefäßen, von welchen das größere zerlegbar in ein Oberteil und ein Unterteil angeordnet ist. Im Oberteil findet das Gefäß *S* für Sodalauge und der Vorwärmer *V* Platz. Er besteht aus zwei in den Hohlraum eingebauten Platten, unter welchen bei *E* der

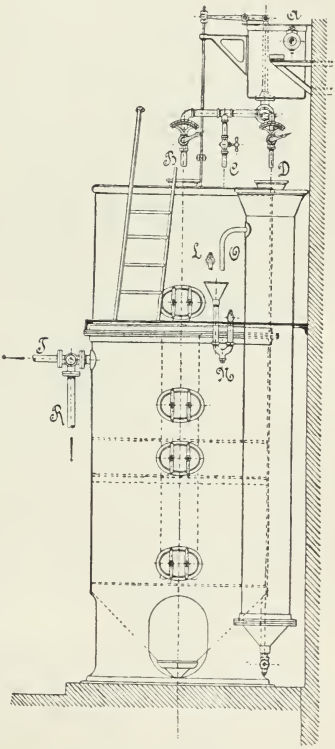


Fig. 59b.

Dampf eintritt, dem von *B* aus das Rohwasser in kataraktähnlichen Fällen regenartig entgegenfließt.

Das Unterteil, als Misch-, Absatz- und Filterkammer ausgebildet, ist durch ein Mittelrohr in zwei Kammern, *I* und *II*, zerlegt. Zu der inneren Kammer *I* findet der Zutritt des vorgewärmten Rohwassers und der gelösten Chemikalien bei *V* statt. Der Zutritt der Lösungen der Chemikalien in den Apparat erfolgt durch *N* von *L* und *O* aus. *N* ist ein leicht putzbares Trichterrohr mit Wasserverschluß, so daß kein Dampf vom Vorwärmer austreten kann. Rohwasser und Chemikalien mischen sich bei *V*, gehen nach unten, treten in die äußere Kammer *II*, von hier aus nach oben und durch das Filter, um über demselben durch Hahn *T* als Reinwasser entnommen zu werden.

Im Fuße des Unterteiles ist der Schlammsack *M*, welcher bei *G* durch einen Hahn von Hand entleert wird. Neben dem großen Misch- und Absetzzylinder ist noch ein kleinerer Zylinder, der Kalkwasserbereiter *K*, aufgestellt, in welchem das zur Reinigung benötigte Kalkwasser dadurch bereitet wird, daß Rohwasser von *D* aus nach unten durch die Kalkwasserbereiter fließt, sich an dem im Unterteil und auf den Tellern liegenden Kalk mit diesem bereichert und bei *O* ausfließend durch *N* in die Mischkammer des Absetzzylinders gelangt.

Der Kalkschlamm wird bei *H* von Hand abgelassen. Über dem Apparat selbst ist ein kleiner Wasserbehälter angeordnet, in den bei *A* das Rohwasser zufließt, und von welchem aus es durch die Hähne *B*, *C* und *D* nach dem Mischzylinder, Sodagefäß *S* und Kalksättiger *K* geleitet wird. Die Hähne *B* und *D* sind mit Skala und Zeiger versehen, ebenso der Auslaufhahn *L* aus dem Sodagefäß, um beliebige Ausfließungen fein einstellen zu können.

In diesen oberen Wasserbehälter sind Schwimmerventile eingebaut, welche durch Schwimmer und Stangenhebel vom Reinwasserraum des Mischzylinders aus betätigt werden und bei Reinwassermangel den ganzen Apparat selbsttätig in Gang setzen, bei genügendem Wasservorrat aber sofort wieder selbsttätig abstellen.

Ein anderer, in bezug auf die Ausnutzung, namentlich des Abdampfes, interessanter und gebräuchlicher Apparat ist derjenige der Firma Siegrheinische Hütten, Aktiengesellschaft zu Friedrich Wilhelms-Hütte, Sieg, fabrizierte, von dem wir in Fig. 60 Abbildung und Beschreibung geben.

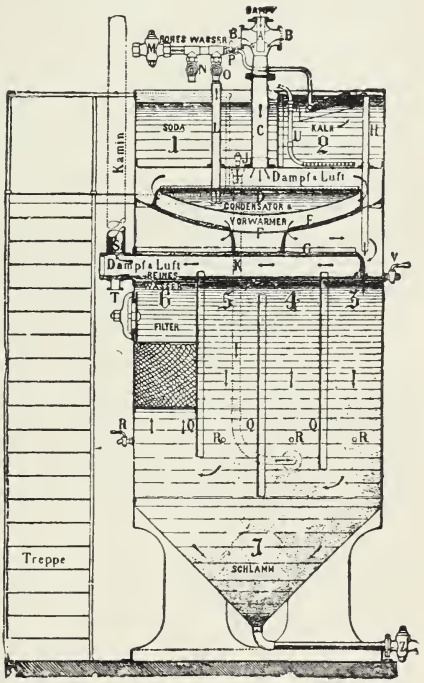


Fig. 60.

Der Apparat bildet einen aufrechtstehenden Zylinder, welcher durch zwei Zwischenböden in drei Hauptabteilungen geteilt wird, deren oberste durch eine senkrechte Querwand in einen Behälter *1* zur Aufnahme und Aufbereitung von Kalkwasser und

einen Behälter *2* für Sodawasser zerfällt. Die mittlere Abteilung dient als Kondensator und Vorwärmer. Die untere Abteilung ist wiederum durch drei senkrechte Querwände in vier verschiedene Abteilungen, Klärkammern, eingeteilt, in welchen die im Wasser enthaltenen gelösten Bestandteile durch Kalk und Soda in unlösliche, Schlamm, umgewandelt und abgeschieden werden.

Der Abdampf tritt von der Dampfmaschine durch die Rohrleitung *A* in ein weiteres Rohr *C* ein, welches unter Durchsetzung der oberen Abteilung in den Kondensator und Vorwärmer einmündet. Die lebendige Kraft des Abdampfes und der durch einen Kamin hervorgerufene Zug bewirken in der Düse des Rohres *C* ein starkes Ansaugen der Luft; es wirkt der Dampf injektorähnlich auf die Außenluft, indem er dieselbe ansaugt. Im Rohre *C* beginnt also die Mischung des Dampfes mit Luft und infolgedessen sofort die abkühlende und niederschlagende Wirkung letzterer auf den Dampf, welcher größtenteils als Wasser in die Schale *D* abfällt. Zu diesem Dampfwasser wird außerdem durch Rohr *L* unreines Kühlwasser eingelassen, welchem die seinem Gehalt an doppeltkohlensauren Verbindungen entsprechenden Mengen Kalkwasser durch Schlitz *U* zugesetzt sind. Von der Schale *D* fällt das Wasser auf den Boden *G*, durch dessen Öffnung *F* auf den Boden *E* und von diesem in die Klärkammer *3*, wo demselben durch Hahn *J* entsprechende Mengen Sodawasser zur Ausfällung der schwefelsauren und Chlorverbindungen zulaufen.

Von der Schale *D* bis in die Klärkammer *3* bilden sich drei Wasserfälle, welche das Dampfluftgemisch durchqueren muß, was eine fernere ergiebige Niederschlagung des Abdampfes zur Folge hat.

Die Luft und der noch etwa übrig gebliebene Dampf trennen sich beim Einlauf des Wassers in die Kammer *3* vom Wasserwege und gehen, nachdem sie diesen Wassereinlauf durchquert, in wagerechter Richtung über den Wasserspiegel der unteren Abteilung, um durch Kamin *S* zu entweichen.

In Kammer *3* beginnt durch den Zusatz von Kalk und Sodawasser und die hohe Temperatur sofort die Ausfällung der kohlensauren und schwefelsauren Verbindungen des Kalkes, der Magnesia und der Chlorverbindungen, welche in Schlamm verwandelt und als solcher in den Kammern *3*, *4*, *5* und *6* der unteren Abteilung abgeschieden werden. Das im Wasser enthaltene Öl oder Fett wird teils verseift, teils von den Kalkflocken eingehüllt und in den gemeinsamen Schlammfang mitgerissen. Es findet eine vollständige Entfettung des Wassers statt.

Der chemische Vorgang ist folgender:

Die doppeltkohlensauren Verbindungen des Kalkes und der Magnesia werden durch den Zusatz von Ätzkalk als einfach kohlensaurer Kalk und einfach kohlensaure Magnesia, beide wasserunlöslich, ausgeschieden.

Die schwefelsauren und Chlorverbindungen des Kalkes werden durch den Zusatz von calzinierter Soda als einfach kohlensaurer Kalk, schwefelsaures Natron und Chlornatrium ausgeschieden.

Folgende Formeln erklären die Wirkungsweise:

$Ca(HCO_3)_2$ doppeltkohlensaurer Kalk + CaO Ätzkalk = $2\,CaCO_3 + H_2O$ zweimal einfachkohlensaurer Kalk,

$MgCO_3$ kohlensaure Magnesia + CaO + CO_2 Ätzkalk = $MgCO_3$ kohlensaure Magnesia + $CaCO_3$ einfachkohlensaurer Kalk,

$CaSO_4$ schwefelsaurer Kalk (Gips) + Na_2CO_3 Soda = $CaCO_3$ einfachkohlensaurer Kalk + Na_2SO_4 schwefelsaures Natron,

$CaCl_2$ Chlorcalzium + Na_2CO_3 Soda = $CaCO_3$ einfachkohlensaurer Kalk + 2 NaCl Chlornatrium,

$MgCl_2$ Chlormagnesium + Na_2CO_3 Soda = $MgCO_3$ kohlensaure Magnesia + 2 NaCl Chlornatrium.

Wie hieraus zu ersehen, werden die im Wasser enthaltenen gelösten Kesselsteinbildner in unlösliche, Schlamm, umgewandelt, welcher durch geeignete, mechanische Einrichtungen entfernt werden muß. Zu diesem Zwecke ist die untere Abteilung, der Klärraum, mit aufrechten Quer- und Stauwänden *Q Q Q* versehen, welche einerseits sich nur über den oberen Teil des Reinigers erstrecken, d. h. dessen unteren Raum als gemeinsamen Schlammablageraum freilassen, anderseits abwechselnd über den Spiegel der Wasserfüllung des Reinigers ragen und unter diesen tauchen, d. h. in vertikalem Sinne gegeneinander versetzt sind, wie es die Abbildung veranschaulicht. Die Gegeneinanderversetzung der Scheidewände hat zur Folge, daß dem Wasser beim Übergang nach der Überlaufleitung *T* ein Zickzackweg durch die Kammern *3*, *4*, *5* und *6* auf- und abwärts vorgeschrieben wird.

Beim Absteigen des Wassers nach den Kammern *3* und *5* wird die Geschwindigkeit des Wassers beim Übergang in die Kammer 4 bzw. *6* durch Querschnittsvergrößerungen plötzlich verlangsamt, während die gebildeten Schlammteile vermöge ihrer spezifischen Schwere das Beharrungsvermögen nach unten länger anhalten, als das Wasser, und nach unten sinken.

Was die Klärung des Wassers besonders beschleunigt, ist der sämtlichen Klärkammern gemein-

same Schlammfang. Die schwersten und meisten Schlammteile fallen infolge der hochgradigen Erhitzung und der Zusätze schon in Kammer *3* und *4* aus der Fließbahn des Wassers aus, während in 5 und *6* die leichten ausfallen. Würden nun die schweren und leichten Schlammteile räumlich voneinander getrennt, so nähme die Klärung des Wassers eine viel größere Zeit in Anspruch. Bei dem gemeinsamen Schlammfang hingegen dienen die schweren als mechanisches Fällungsmittel, überholen die leichten und reißen sie mit sich fort.

Durch diese sehr gut wirkende mechanische Einrichtung wird das in Klärkammer 6 angeordnete Koksfilter nur wenig beansprucht; es dient hauptsächlich zur Beruhigung des Wassers resp. um etwaige durch den stoßweisen Eintritt des Abdampfes entstehende Schwankungen im Klärraum zu verhindern. Das Koksfilter wird nötigenfalls mit Druckwasser ausgespritzt und braucht nur selten erneuert zu werden.

Um die Richtigkeit der Zusätze von Kalk und Soda jederzeit prüfen zu können, sind in Kammer *3* und *6* die Probierhähne *R R* angeordnet.

Der Wasserzulauf wird durch den Hahn *O* so eingestellt, daß der Apparat fortwährend gleichmäßig arbeitet. Etwaige Verbrauchsdifferenzen müssen in einem Sammelreservoir ausgeglichen werden.

Weitere Apparate zur Wasserenthärtung.

Zur näheren Kennzeichnung der im vorigen besprochenen Apparate zur Verbesserung des Wassers nach dem Kalk-Sodaverfahren mögen im nachstehenden noch einige derartige Apparate bekannter Firmen Besprechung finden, aus welchen noch mancherlei konstruktive Besonderheiten hervorgehen.

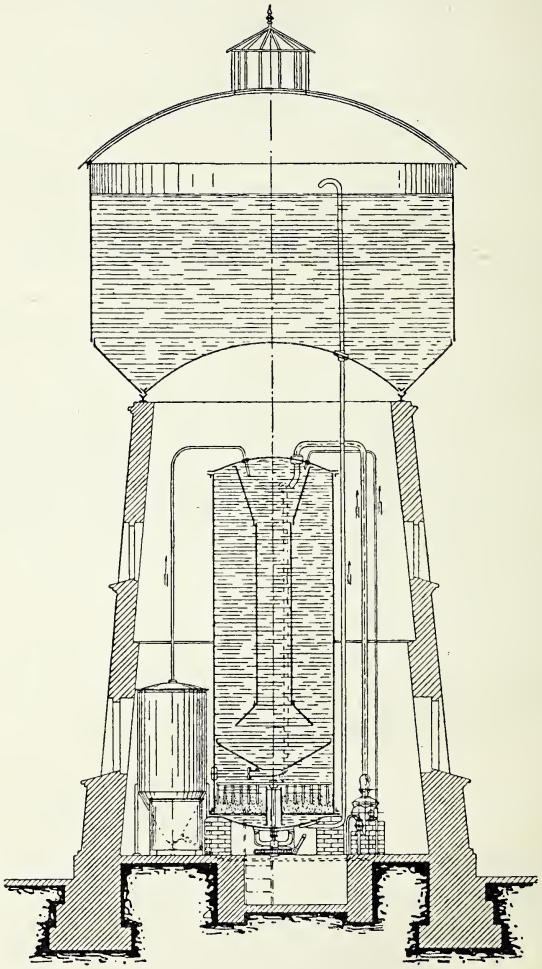


Fig. 61.

Die Fig. 61 zeigt eine Wasserverbesserungsanlage von der Firma Halvor Breda, Berlin, für einen Eisenbahnwasserturm, wobei der Hochbehälter als Reinwasserbehälter dient. Abweichend von den bisher besprochenen Anlagen, werden hier die Chemikalien in einem geschlossenen Klärbehälter zugeführt. Es wird das Rohwasser durch eine mittelst Dampfmaschine, Explosionsmotor oder Elektromotor angetriebene Pumpe aus dem Brunnen gefördert und durch den Wasserreiniger hindurch auf den Hochbehälter gedrückt. An die Wasserpumpe werden zwei Laugenpumpen angehängt, die stets, proportional der Rohwassermenge, Kalkwasser und Sodalösung aus den Vorratsbehältern entnehmen und dem höchsten Punkte des Klärbehälters zuführen, wo die Mischung mit dem Rohwasser erfolgt und die chemische Reaktion beginnt. Das Wasser zieht dann langsam in dem inneren Rohre des Klärbehälters nach unten und steigt darauf in den äußeren Ringraum nach oben, auf diesem Wege den ausgeschiedenen Schlamm fallen lassend, um schließlich durch eine Rohrverbindung nach dem unter dem Klärraum angeordneten Kiesfilter zu gelangen, aus welchem es klar filtriert durch ein Steigerohr nach dem Hochbehälter übertritt. Das Kiesfilter ist mit einem Rührwerk versehen, um bei zunehmender Verschlammung durch Gegenstrom gewaschen werden zu können. Das Rührwerk wird entweder von Hand oder, bei größeren Apparaten, mittelst Elektromotor in Umdrehung versetzt, um den Schlamm von den Kieskörnchen zu lösen. Das aus dem Hochbehälter zugeführte Wasser spült den Schlamm fort, so daß der Kies immer wieder gebrauchsfähig gemacht wird. Die Reinigung des Wassers geschieht bei diesen Apparaten auf kaltem Wege.

Dieselbe Firma baut für kleinere Leistungen von 0,35—1,5 cbm pro Stunde und für Dampfkesselanlagen von 10—80 qm Heizfläche den in der Fig. 62 abgebildeten Apparat. Derselbe ist so eingerichtet,

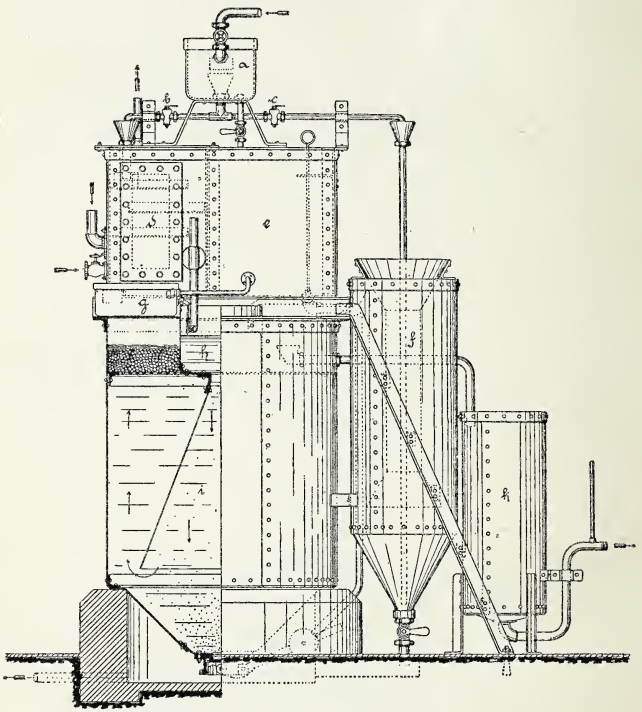


Fig. 62.

daß das zu reinigende Wasser zunächst in den oberen Behälter *a* eintritt. Fließt das Wasser aus einem Hochbehälter oder einer vorhandenen Druckleitung zu, so wird in dem Behälter *a* der Zufluß durch ein selbsttätiges Schwimmerventil so reguliert, daß der

Wasserspiegel sich gleichmäßig auf eine bestimmte Höhe einstellt. Muß das Wasser direkt aus dem Brunnen durch eine Kolben- oder Dampfstrahlpumpe gehoben werden, wird der Behälter mit einem Überlauf versehen, welcher das überschüssige Wasser zurückfließen läßt, so daß auch in diesem Falle der Wasserspiegel in *a* immer gleich hoch steht.

Unter dem Behälter *a* befindet sich ein zylindrischer Behälter, welcher, durch eine senkrechte Wand in zwei Räume geteilt, in dem einen den Vorwärmer *d* und in dem anderen den Sodalaugenbehälter *e* enthält.

Aus dem Behälter *a* fließt das Wasser durch eine Rohrleitung ab und wird durch zwei Hähne *b* und *c* mit Zeiger und Skala in zwei Ströme zerlegt, von denen der eine nach dem Vorwärmer *d* und der andere nach dem Kalkwassersättiger *f* fließt.

In dem Vorwärmer *d* wird das Wasser, wenn zum Heizen Abdampf zur Verfügung steht, über stufenförmig eingebaute Platten langsam nach unten geleitet, während der Abdampf, unten eintretend, dem Wasser entgegenströmt, sich mit ihm mischt und es erwärmt; ein Überschuß von Dampf kann oben durch ein Dunstrohr entweichen. Wird die Erwärmung mit Frischdampf vorgenommen, strömt der Dampf durch einen sogenannten geräuschlosen Wasseranwärmer direkt ins Wasser ein und kondensiert darin vollständig, so daß kein Atom Dampf verloren geht.

Die Zweckmäßigkeit der Erwärmung des Wassers ist in der auf Seite 121 u. f. gegebenen Erklärung nachgewiesen.

Das nach dem Kalkwassersättiger *f* fließende Wasser wird durch den Hahn *c* so reguliert, daß genau diejenige Menge von Kalkwasser erzeugt wird, wie nach der Analyse nötig ist, um die Bikarbonate des Wassers auszuscheiden.

Die Einstellung des Hahnes *c* erfolgt bei der Inbetriebsetzung des Apparates, und der Hahn braucht dann nicht mehr verstellt zu werden.

Der Kalkwassersättiger *f* ist ein zylindrisches Gefäß mit Spitzboden. Das zufließende Wasser gelangt durch das in der Mitte befindliche Rohr in die unterste Spitze, durchdringt den Kalkbrei und laugt ihn aus. Die auslaugende Wirkung wird unterstützt durch die mit dem Wasser hinuntergerissenen Luftblasen, die bei ihrem Aufsteigen in dem Spitzboden den Kalk aufwirbeln, so daß er sich stets aufs innigste mit dem Wasser mischt. Das Wasser sättigt sich hierbei mit Ätzkalk, und indem es langsam nach oben steigt, klärt es sich, so daß es oben als klares gesättigtes Kalkwasser abfließt.

In dem Sodalaugenbehälter *e* wird täglich einmal die Sodalauge angerichtet, indem die nach der Analyse für den täglichen Wasserbedarf nötige Sodamenge in dem den Behälter füllenden Wasser aufgelöst wird. Die Sodalauge fließt, durch ein Schwimmerventil reguliert, dem Dosierungskasten *g* zu, in welchem der Wasserspiegel sich immer auf gleicher Höhe hält, und wird durch ein kleines Hähnchen dem Mischraum *h* zugeleitet. In dem Mischraum *h* treffen nun die drei Flüssigkeiten: erwärmtes Rohwasser, Kalkwasser und Sodalauge in genau bestimmten Mengen zusammen, und hier vollzieht sich der chemische Prozeß, durch welchen die im Wasser gelösten Härtebildner in unlösliche Salze umgewandelt werden, die sich im Wasser zu Boden lagern und abfiltriert werden können. Das trübe gewordene Wasser zieht in dem nach unten sich erweiternden Trichter *i* abwärts, indem die Geschwindigkeit sich fortwährend verlangsamt, so daß dort Schlamm sich am Boden ablagert, kehrt dann nach oben um, passiert noch eine Schicht

grober Kieselsteine, welche den gleichmäßigen Durchfluß gewährleistet, und fließt in das Filter *k* ab, welches, mit Holzwolle gefüllt, die letzten Spuren des Schlammes aufnimmt, um das gereinigte Wasser klar abfließen zu lassen.

Wenn das Filter verschlammt ist, was in der Regel 1—2 Wochen dauert, wird die Holzwolle entfernt und neue eingefüllt. Dieselbe ist mit der Hand fest einzudrücken.

Das gereinigte Wasser wird in einem Behälter gesammelt, der zweckmäßig den Inhalt eines Stundenquantums erhält, und aus diesem von der Kesselspeisepumpe entnommen.

Ein anderer Apparat ist der von der Firma F. Carnarius in Friedenau gebaute, von welchem die Fig. 63 ein anschauliches Bild gibt. Wir geben nachfolgend Beschreibung und Wirkungsweise dieses Apparates.

Im Reinwasserbehälter befindet sich ein Schwimmer, der den Rohwasserzufluß mittelst Drosselventiles so einstellt, daß die Wasserhöhe im Reinwasserbehälter unverändert erhalten wird. Zur Reinigung des Wassers werden in der bekannten Weise Kalk und Soda benutzt. Das Rohwasser gelangt zunächst in einen Wasserverteiler, in dem sich zwei einstellbare, d. h. in ihrem Querschnitt zu verändernde, Ausflußöffnungen befinden, durch welche das Wasser in der seiner Zusammensetzung entsprechenden Verteilung nach dem Kalksättiger und nach dem Sodamischgefäß überfließt. Die Überläufe werden nach der Analyse des Wassers ein für allemal eingestellt und ermöglichen für jede zufließende Rohwassermenge stets die gleiche relative Verteilung.

Da sich mit der Menge des zu reinigenden Wassers die Höhe des Wasserspiegels im Wasser-

verteiler infolge der Einstellung der Überläufe verändert, so benutzt Carnarius diesen Wasserspiegel,

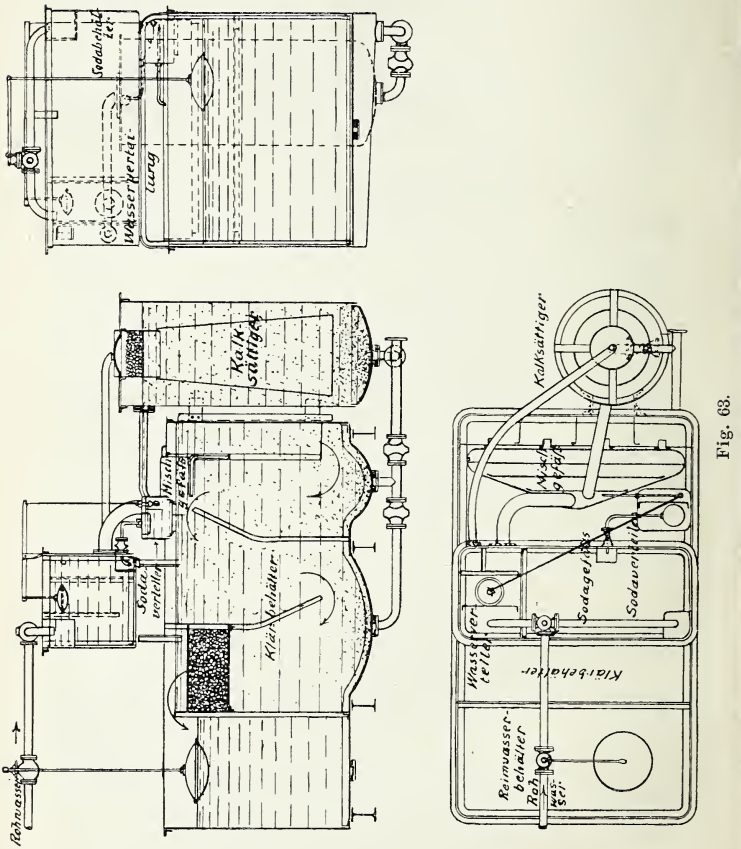


Fig. 63.

um die Menge der zuzusetzenden Sodalösung entsprechend der zu reinigenden Rohwassermenge zu regeln, indem ein Schwimmer mit Hilfe eines Doppel-

hebels ein mit einstellbarem Schlitz versehenes zylindrisches Gefäß *a* mehr oder weniger tief in den Sodaverteiler eintaucht. Je nach der Länge des in das Wasser eingetauchten Schlitzes *a* läuft mehr oder weniger Sodalösung durch einen Schlauch in das Mischgefäß über.

Der Wasserspiegel im Sodaverteiler wird durch Schwimmerregulierung des Zuflusses aus dem Sodagefäß unverändert gehalten.

In dem Mischgefäß wird das Rohwasser mit der Kalk- und Sodalösung gemischt, und die ausscheidenden festen Teile werden im Klärbehälter niedergeschlagen; das geklärte Wasser fließt über eine Scheidewand in den Reinwasserbehälter über, von wo es den Pumpen und Injektoren zuläuft.

Diese Ausbildung der Wasserreinigung ist sehr sinnreich. Es genügt ein einmaliges Einstellen der Überläufe *b* und des Schlitzes *a*, entsprechend der Analyse des Rohwassers, um stets für jede beliebige Rohwassermenge die entsprechende Zusatzmenge an Kalk- und Sodalösung zu erzielen.

Selbstverständlich muß das Wasser auf etwa 50 bis 60° C erwärmt werden, um die Reinigung wirksam zu machen. Dies geschieht durch Dampf.

In der Fig. 64 ist die Bauart der Firma J. Göhring, Apparate- und Maschinenfabrik in Offenbach a. M. (nach System Scheidt), dargestellt.

Aus der Zuflußleitung für Rohwasser wird zum Betriebe des Apparates vorerst die kleinere Abteilung im oberen Behälter mit Wasser gefüllt und dort eine Sodalösung von bestimmtem Sodagehalt bereitet. Der Rohwassereintritt findet vom Rohwasserzufluß aus in die größere Abteilung des oberen Behälters statt und wird durch ein in demselben befindliches Schwimmerventil reguliert, so daß der Wasserstand

stets auf gleiche Höhe eingestellt ist. Vom Rohwasserbehälter tritt das Wasser teils in den Kalkwassersättiger, teils in den Mischbehälter. In die betreffenden Leitungen sind mit Skala versehene Hähne eingeschaltet, welche ein genaues Einstellen der Wassermengen gestatten.

Das im Kalkwassersättiger erzeugte Kalkwasser fließt über den Rand des Außenzylinders in eine rund herum laufende Rinne und von hier ebenfalls zum Mischbehälter.

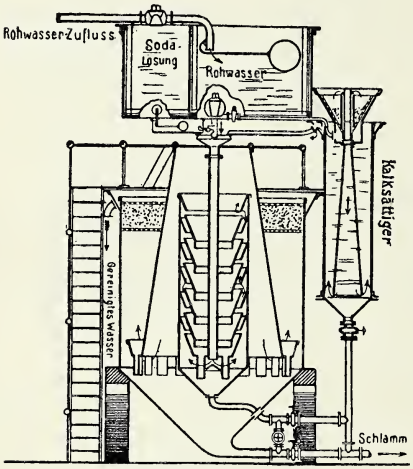


Fig. 64.

Im Mischbehälter mischen sich zunächst Rohwasser und Kalkwasser. Die Sodalösung fließt zunächst in ein Sodameßgefäß, in dem der Flüssigkeitsspiegel durch ein kleines Schwimmerventil stets auf gleicher Höhe gehalten wird, und von hier durch einen kleinen, mit Skala versehenen Hahn unter stets gleichbleibendem Strom in den Mischtrichter. Mit Kalk und Sodalösung, der Analyse entsprechend gemischt, strömt das zu reinigende Wasser jetzt unter starker Wirbelung und Reibung an der Innenwand des Mischrohres nach unten, wodurch sofort eine energische Fällung der Kesselsteinbildner hervorgerufen wird. Beim Austritt aus dem Mischrohr

wird das Wasser zwischen trichterartigen Einbauten aufwärts geführt und scheidet auch hierbei einen Teil seiner Beimengungen ab, welche zu Boden sinken und durch Schlammablässe entfernt werden können. Von den Trichtern des Innenbehälters fällt das Wasser in einen zweiten, nach unten konisch verlaufenden Klärbehälter, in welchem es nach untenhin seine Geschwindigkeit verlangsamt und wiederum die festen Stoffe ausscheidet. Es tritt dann durch eine Schlammsammelrinne nach dem dritten Behälter über, in welchem es, seine letzten Schlammteilchen ausscheidend, aufwärts steigt und am oberen Ende dieses Behälters filtriert wird, worauf es als Reinwasser verwendungsbereit ist.

Eine besonders durch ihren eigenartigen Filtereinbau auffallende Konstruktion ist in der Fig. 65 dargestellt und nachfolgend beschreibend erläutert:

Der automatische Wasserreinigungsapparat „System Breuer", von der Maschinen- und Armaturenfabrik vormals H. Breuer & Co. in Höchst a. M., besteht im wesentlichen aus dem durch Zwischenwände in drei Abteilungen geteilten Hochbehälter *A*, dem Klärbehälter *B*, dem Kalkwassersättiger *C*, dem Sodareguliergefäß *D* und dem unter dem Klärbehälter *B* angeordneten Breuer-Filter.

Das dem Apparat bei dem Stutzen *E* zugeführte Rohwasser fließt zunächst durch den Auslaufkrümmer *F* in die für Rohwasser bestimmte Abteilung des Hochbehälters *A*.

An dieser Abteilung sitzen in gleicher Höhe zwei Hähne *G* und *H*, durch welche das Rohwasser wieder abfließen kann. Die größere Menge gelangt durch den Hahn *G* und das Abflußrohr G_1 direkt nach dem oben stark erweiterten zentralen Fallrohr *J*, worin es durch den tangentialen Eintritt eine stark kreisende Bewegung hervorruft.

Die kleinere, nach dem benötigten Kalkwasserquantum genau eingestellte Menge Rohwasser läuft durch den Hahn H und das Ablaufrohr H_1 nach dem Kalkwassersättiger C, in welchem es durch das zentrale Trichterrohr H_2 nach dem untersten Teile ge-

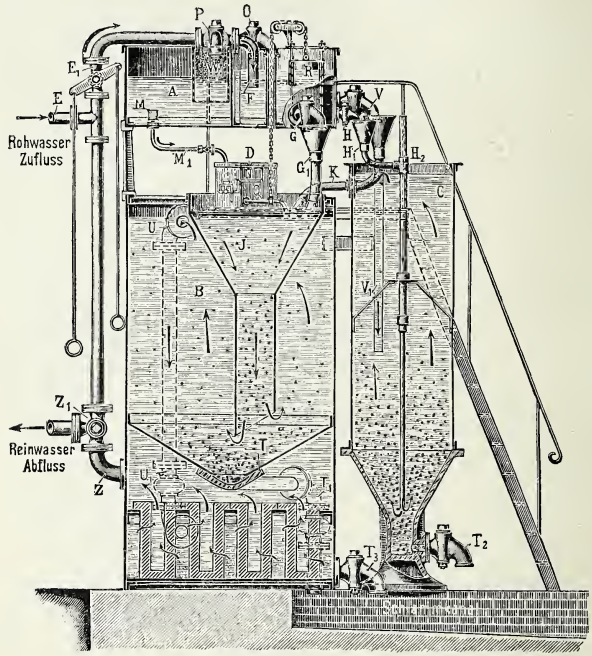


Fig. 65.

führt wird, um hier, nach allen Seiten gleichmäßig verteilt, in den Sättiger auszutreten und oben als vollständig gesättigtes und geklärtes Kalkwasser durch den Überlauf K nach dem Mischtrog abzufließen.

Die nötige Sodalösung läuft zunächst aus der entsprechenden Abteilung des Hochbehälters durch

ein Haarsieb M und dessen Anschlußleitung M_1 nach dem Sodareguliergefäß D, in welchem der Zufluß durch die Schwimmerabsperrung N erfolgt. Von dem Reguliergefäß D erfolgt der Ausfluß der Sodalösung nach dem Mischtrog durch den drehbar angeordneten Auslauf Q, der seinerseits derart mit dem im Rohwasserbehälter befindlichen Schwimmer R verbunden ist, daß beim Sinken des Schwimmers R der Auslauf hochgezogen wird und umgekehrt.

Läuft beispielsweise die Rohwasserabteilung einmal ganz leer, so wird der Schwimmer bis zum Boden sinken und hierdurch den Auslauf Q so hoch ziehen, daß keine Sodalösung mehr ausfließen kann, gleichzeitig hören dann aber auch die Zuflüsse von Roh- und Kalkwasser zu laufen auf.

Umgekehrt fangen die drei Zuflüsse von Rohwasser, Kalkwasser und Sodalösung gleichzeitig zu laufen an, sobald wieder Rohwasser der entsprechenden Abteilung zufließt.

Durch diese sehr einfache Anordnung werden selbsttätig die Zusatzmengen der Chemikalien in ein ganz bestimmtes, für alle Fälle stets gleiches und richtiges Verhältnis zu der Menge des zufließenden Rohwassers gebracht, d. h. der Apparat regelt seinen Gang vollkommen automatisch.

Das etwa der Rohwasserabteilung zu viel zugeführte Wasser wird durch einen Überlauf entsprechend abgeleitet.

Nach der Vereinigung des gesättigten Kalkwassers mit der Sodalösung läuft dies Gemisch vom Mischtrog nach dem zentralen Fallrohr J, und zwar der dort herrschenden kreisenden Bewegung des Rohwassers entgegen. Hierdurch wird eine außerordentlich gute Mischung mit dem Rohwasser erzielt und der Eintritt der Reaktion zweckmäßig beschleunigt.

Durch den sich nach unten verjüngenden Querschnitt des Fallrohres J entsteht bei stetig zunehmender Wassergeschwindigkeit ein immer stärkeres Durch-

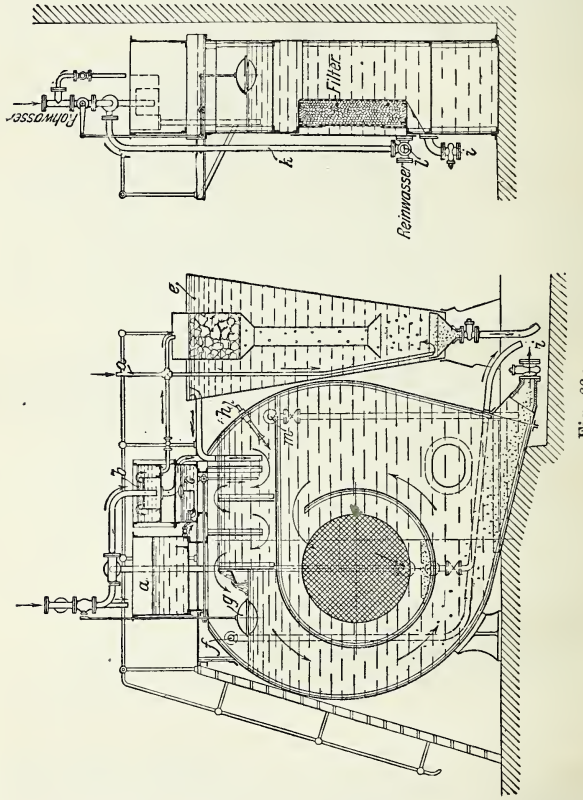


Fig. 66a.

einanderwirbeln und eine die vollständige Ausscheidung bedingende innigere Mischung.

Nach dem Austritt aus dem zentralen Fallrohr J kehrt das Wasser seine Bewegungsrichtung um und tritt in den Reaktionsraum B ein.

Die größten Schlammengen setzen sich im Schlammsammler T ab, von wo sie nach Bedarf durch den Schieber T_1 abgelassen werden können.

Der Reaktionsraum B ist so reichlich dimensioniert, daß das Wasser genügend Zeit hat, die Reaktion darin zu beenden und dann, schon ziemlich gut vorgeklärt, durch den Stutzen U nach der Filterkammer abzufließen.

Nachdem es die Filterelemente in der in Fig. 65 angegebenen Pfeilrichtung durchflossen hat, verläßt es durch Stutzen Z und Dreiwegehahn Z_1 den Apparat in gereinigtem Zustande.

Fig. 66 b.

Vollständig abweichend von den bisher beschriebenen Apparaten ist der von der Firma J. A. Miller & Co., Berlin, hergestellte Wasserreiniger „System Rottmann“ (Fig. 66) konstruiert, der allen vorhandenen Raumverhältnissen angepaßt werden kann. Die Vorwärmung des aus dem Wasserverteiler b ausfließenden Rohwassers findet in dem großen Behälter durch den Dampfanwärmeapparat f mittelst Frischdampf oder Abdampf statt.

Die zur chemischen Ausfällung erforderliche Sodalösung fließt aus dem Sodabehälter a in das Sodameßgefäß c und von hier durch einen Regulierhahn in den darunter befindlichen Mischraum, in welchem sie mit dem Rohwasser und der aus dem Überlaufrohr

des Kalkwassersättigers *e* ausfließenden Kalklösung vermischt wird. Für Erzielung einer guten Vermischung des Rohwassers und der Reagentien sind in den Mischraum Zwischenwände eingebaut, welche das Wasser einige Male zur Richtungsänderung zwingen.

Die Vermischung wird noch inniger durch das Überfallen der Flüssigkeit über eine gezahnte Vorderwand des Behälters und das darunter befindliche Blech. Das Wasser durchströmt dann den Klärbehälter und scheidet dabei seine Sink- und Schwebestoffe aus, die allmählich zu Boden sinken und sich in der Ausbuchtung *i* des Behälters ablagern. Von Zeit zu Zeit kann hier der Schlamm vermittelst des Ablasses *i* entfernt werden. Der Behälter ist so gebaut, daß die Umkehrung des Wasserstromes von seiner Abwärtsbewegung zur Aufwärtsbewegung ganz allmählich erfolgt, so daß die im Wasser befindlichen Schwebestoffe allmählich von der lotrechten Sinkbewegung abgelenkt werden. Die Geschwindigkeit des Wassers bei der Abwärtsbewegung vergrößert sich entsprechend der durch den exzentrisch eingebauten Innenzylinder bedingten Querschnittsverengung, um sich bei der Aufwärtsbewegung entsprechend der Querschnittsvergrößerung wieder zu verkleinern. Dieses hat den Zweck, daß die Sinkstoffe bei der Abwärtsbewegung nach der Ausbuchtung hin beschleunigt werden, während bei der Aufwärtsbewegung des Wassers die Geschwindigkeit eine so geringe ist, daß die noch im Wasser befindlichen Schwebestoffe nicht mit hochgerissen werden können.

Vom Klärbehälter gelangt das so mechanisch gereinigte Wasser in den Innenraum, in welchem sich ebenfalls ein Schlammablaß befindet, und durch welchen etwa sich noch absetzende Schlammteilchen von Zeit zu Zeit abgezogen werden können. Aus

dem Innenraum tritt das Wasser zum Schluß durch ein Filter und kann nun bei *l* durch den Dreiwegehahn vollständig gereinigt entnommen werden. Dieses Filter ist derart in den Innenraum eingebaut, daß die Filterfläche nicht unmittelbar vom Wasserstrom getroffen werden kann und sich daher Schlammteilchen nicht auf der Filterfläche ablagern können, sondern zu Boden sinken, wodurch eine Verunreinigung der Filterfläche vermieden wird. Durch die seitliche Anordnung des Filters ist es ferner möglich, dasselbe jederzeit mit Leichtigkeit nachsehen zu können und einfache Vorrichtungen zum Nachfüllen des Filtermaterials anzubringen. Für die Reinigung der Filtermasse ist eine Umlaufleitung *k* vorgesehen, die es ermöglicht, nach richtiger Umstellung des Dreiwegehahnes *l* den Rohwasserstrom vom Rohwassereintritt aus in umgekehrter Richtung durch den Apparat zu leiten.

Für besonders große Leistungen wird der Apparat mit zwei Filtern nach Fig. 67 gebaut. Der Vorgang ist derselbe wie bei dem einfachen Apparat, mit dem einzigen Unterschied, daß hier der Wasserstrom nach der chemischen Behandlung geteilt wird und vom Mischbehälter *B* aus nach beiden Seiten hin überfällt. In der Mitte des Apparates sammelt sich am Boden der Schlamm, während sich das Wasser ebenfalls in der Mitte aufwärts bewegt, um alsdann nach beiden Seiten in die Filterräume überzufließen. Hier strömt das Wasser durch die beiden Filter, worauf es durch eine gemeinsame Rohrleitung seiner weiteren Verwendung zugeführt wird.

Bei den Rottmannschen Apparaten findet die Regelung der Zuflüsse von Rohwasser und Fällungsmitteln durch den im Klärbehälter (Fig. 66) befindlichen Schwimmer *g* statt. Bei geringer Reinwasserentnahme steigt der Wasserspiegel im Klärbehälter

und damit auch der Schwimmer. Dadurch wird das Rohwasserventil und mittelst Hebelübersetzung und Gestänge auch der Sodaauslaufhahn mehr oder weniger abgesperrt. Gleichzeitig hebt sich durch den nun auch im Sodameßgefäß steigenden Flüssigkeitsspiegel der Schwimmer, wodurch das Schwimmerventil gedrosselt und damit der Sodazufluß aus dem Sodabehälter *a* abgesperrt wird.

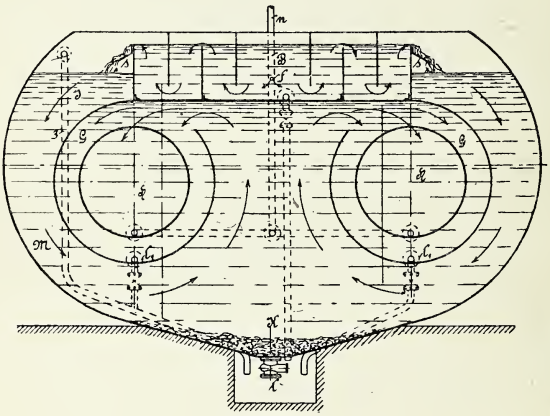


Fig. 67.

Die Verteilung des zu reinigenden Rohwassers und der zur Kalklösung erforderlichen Wassermenge findet in einem besonderen Meßgefäß *b* statt. Sobald die Reinwasserentnahme ganz aufhört, steigt der Schwimmer *g* so hoch, bis das Hauptzuflußventil ganz geschlossen und dadurch der ganze Apparat außer Betrieb gesetzt wird.

Nachdem wir das Kalk-Sodaverfahren zur Verbesserung des Wassers im vorigen eingehend besprochen haben, kommen wir jetzt zu dem neuerdings wieder aufgenommenen Baryt-Kalkverfahren.

Das Baryt-Kalkverfahren.

Apparate nach diesem Verfahren sind durch deutsches Reichspatent geschützt und werden von der Firma Hans Reisert, G. m. b. H., Köln, fabriziert. Zur Beseitigung der im Wasser enthaltenen unlöslichen Stoffe wird kohlensaurer Baryt angewendet, (eventuell) in Verbindung mit gebranntem Kalk. Obwohl der kohlensaure Baryt selbst praktisch genommen unlöslich ist, hat er dennoch, wenn er nach dem patentierten Verfahren angewandt wird, die Eigenschaft, sich mit gelösten Salzen umzusetzen. Sowohl die freie als auch gebundene Schwefelsäure wird von kohlensaurem Baryt aufgenommen, und der schwefelsaure Kalk, welcher der hauptsächlichste Kesselsteinbildner ist, in einfach kohlensauren Kalk und schwefelsauren Baryt umgesetzt, beides unlösliche Salze, die als Schlamm ausgeschieden werden.

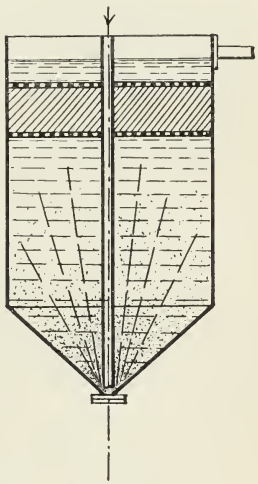


Fig. 68.

In Fig. 68 ist das wesentlichste der Konstruktion dieser Apparate gezeigt. Dieselben bestehen aus dem unten trichterförmig zulaufenden Behälter, in welchem das Rohr für die Zuführung des Rohwassers bis zum Boden ragt. Im oberen Teil des Behälters befindet sich ein Filter. Die Inbetriebnahme des Apparates geschieht in der Weise, daß in den Behälter eine größere Menge kohlensaurer Baryt hineingetan wird. Die Menge braucht nicht der chemischen

Zusammensetzung des Wassers angepaßt zu sein, sondern kann im Überschuß gegeben werden, da nur so viel Baryt in Lösung geht, als zur Fällung der schwefelsauren Verbindungen erforderlich ist. Es wird also nur immer so viel verbraucht, als zur Beseitigung der im Wasser enthaltenen Schwefelsäure notwendig ist.

Enthält ein Wasser auch doppeltkohlensauren Kalk, so wird dieser durch Ätzkalk, welcher in stets gleichbleibender Lösung durch den wohl allgemein bekannten und bestbewährten Dervauxschen Kalksättiger kontinuierlich zugeführt wird, als einfach kohlensaurer Kalk in Schlammform ausgeschieden.

Die Klarfiltration des Wassers erfolgt in einem in den Apparat eingebauten Filter. In dem Wasser etwa enthaltenes Öl und Eisen werden vollständig zurückgehalten.

Das Verfahren eignet sich für die Reinigung fast jeden Wassers, nur äußerst seltene Fälle ausgenommen, und zwar kann die Reinigung bei jeder Temperatur des Wassers vorgenommen werden. Aus ökonomischen Gründen werden die Apparate auch mit einem Vorwärmer für Frisch- oder Abdampf ausgerüstet.

Nach den Mitteilungen der Firma Reisert bestehen die Hauptvorteile dieser Apparate gegenüber den mit Kalk-Sodaverfahren ausgerüsteten darin, daß keine irgendwie schädlichen chemischen Verbindungen sich bilden und in Lösung bleiben, und daß die Bedienung der Apparate eine sehr einfache ist.

Die Kosten der Wasserenthärtung.

Um in bezug auf die besprochenen beiden Verfahren (Kalk-Sodaverfahren und Baryt-Kalkverfahren) einen Überblick über die durch den Zusatz von

Chemikalien entstehenden Kosten zu gewinnen, welche außer der Bedienung die einzigen Ausgaben darstellen, seien nachfolgend hierüber noch einige Angaben gemacht.

Es kosten z. B. in größeren Mengen bezogen:

100 kg	Kalk	8—10	Mk.
100 „	Soda	12	„
100 „	Baryt	30—40	„
100 „	Ätznatron	25—30	„

Wenn man die Mengen der Zusätze sowie die stündliche Leistung, ferner die Betriebsstunden pro Tag bzw. Jahr kennt, ist es leicht, sich die entstehenden Kosten zu berechnen.

Bezüglich der Anlagekosten von Wasserenthärtungsapparaten können bestimmte Angaben nicht gemacht werden, da bei der Verschiedenheit der gebräuchlichen Systeme auch deren Preise sehr verschieden sind. Außerdem richten sich die Preise derartiger Apparate nach der Größe ihrer stündlichen Leistung sowie nach der Beschaffenheit des betreffenden Wassers. Bei mittleren Anlagen rechnet man pro Jahr 5 % Verzinsung und 10 % Abschreibung.

Sonstige Mittel zur Enthärtung.

Es erübrigt noch der Vollständigkeit halber, einige andere Verfahren zur Enthärtung des Wassers wenigstens anzuführen, die auf eine chemische Behandlung der betreffenden Wässer hinauslaufen oder in irgendeiner Weise mechanisch auf die im Wasser sich bildenden chemischen Fällungen einwirken. Solche Mittel werden meist im Dampfkesselbetrieb angewandt. Mit ihrer Hilfe beabsichtigt man die verhältnismäßig teuren Enthärtungsapparate zu vermeiden, indem man die betreffenden Stoffe dem Speisewasser direkt zusetzt. Es muß vorausgeschickt werden, daß derartige

Mittel, trotzdem sie mit großer Reklame in den Handel gebracht werden, in bezug auf ihre Wirkung nicht entfernt das erfüllen, was versprochen wird; ja sie können unter Umständen außerordentlich schädlich wirken, da sie ganz universell ohne Rücksicht auf die jeweilige Beschaffenheit des betreffenden Wassers in stets gleicher Zusammensetzung angewandt werden. Vielfach segeln diese Mittel unter der Flagge der Geheimmittel und veranlassen durch diesen Nimbus auch heute noch unerfahrene Leute zu ihrer Anwendung. Wir wollen diese Fabrikate hier nicht aufführen, da sie für die Praxis keine Bedeutung haben und vor ihrer Verwendung gewarnt werden muß.

Einige Mittel bezwecken, hauptsächlich ebenfalls beim Dampfkesselbetrieb angewandt, die sich dort bildenden chemischen Ausscheidungen schnell auszuscheiden und ihre feste Zusammenfügung zu steinartigen Massen zu verhindern. Es sind dies meist organische Zusätze, welche sich im Wasser schwimmend bewegen, und an welchen sich die unlöslichen Ausscheidungen aus dem Wasser festsetzen, um dann mit ihnen zu Boden zu sinken. Auch diese Zusätze sind absolut nicht zu empfehlen, da sie schwer zu beseitigenden Schlamm, namentlich im Innern von Dampfkesseln, absetzen und auch in ihrer Wirkung auf die Beseitigung der Ausscheidungen nicht vollkommen sind.

Auch hat man Zusatz von Petroleum zum Kesselspeisewasser angewendet. Es soll durch das Verdampfen des Petroleums an den Innenwandungen der Kessel die Bildung festen Kesselsteines unmöglich gemacht werden, indem die Petroleumdämpfe die sich bildenden Kesselsteinschichten immer wieder zersprengen, überhaupt nicht zulassen, daß sich die

Ausscheidungen zu festen Steinmassen zusammenschließen. Man wendet auf 50 qm Kesselheizfläche pro zehnstündigen Arbeitstag 1,2 l Petroleum, das durch besondere Vorrichtungen tropfenweise dem Kesselspeisewasser zugeführt wird. Die Ansichten über die Brauchbarkeit dieser Methode zur Verhütung der Kesselsteinbildung gehen sehr auseinander, jedenfalls muß beim Gebrauch Vorsicht angewandt werden.

Die Verbesserung des Wassers durch Anwendung von Elektrizität.

Es konnte nicht ausbleiben, daß auch der Elektrizität, die sich auf den verschiedensten Gebieten so nützlich bewährt hat, in bezug auf die Frage der Wasserverbesserung sich ein Arbeitsfeld erschließen würde. Dies war gegeben, nachdem es gelungen war, aus der Luft durch Elektrizität ein Sauerstoffprodukt zu gewinnen, welches ganz besonders durch seine vernichtende Wirkung auf die im Wasser enthaltenen Bakterien von Einfluß wurde. Dieser durch Elektrizität gewonnene Stoff ist das Ozon, in der Chemie durch die Bezeichnung O_3 ausgedrückt. Die hauptsächlich im Kaiserlichen Gesundheitsamt angestellten Untersuchungen haben ergeben, daß das Ozon auf die im Wasser befindlichen Bakterien dann zerstörend einwirkt, wenn das Wasser nicht zu sehr mit organischer Substanz verunreinigt ist. Weiterhin haben andere Untersuchungen gezeigt, daß eisenhaltige Wässer durch Behandlung mit Ozon von ihrem Eisengehalt befreit werden können, und daß man das Ozon sehr vorteilhaft an Stelle der früher besprochenen Belüftungsverfahren zur Enteisenung besonders dann anwenden kann, wenn das

Eisen im Wasser unter besonders schwierigen Umständen gebunden ist.

Man hat die Eigenschaften des Ozons in der Technik zur Verbesserung des Wassers — namentlich des Trinkwassers — sich nutzbar gemacht, und ist es die Firma Siemens & Halske gewesen, welche zuerst derartige Anlagen in die Praxis eingeführt hat. Die von der genannten Firma mit Ozonisierungsanlagen ausgerüsteten Wasserwerke in Paderborn und Wiesbaden zeigen, wie erfolgreich man mit der Anwendung dieser neuen Methode gewesen ist.

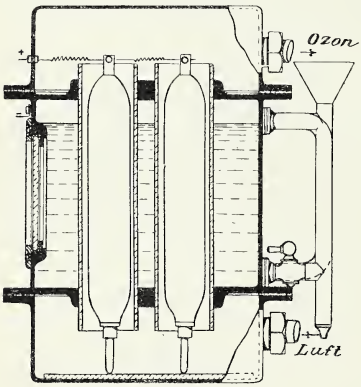


Fig. 69.

Das Ozon selbst unterscheidet sich vom Sauerstoff insofern, daß sein Molekül nicht aus zwei Atomen (Sauerstoff der Luft), sondern aus drei Atomen besteht. Bei Berührung mit oxydierbaren Körpern geht eines von den drei Atomen in Reaktion, und es verbleibt der gewöhnliche Luftsauerstoff. Im Wasser ist Ozon schwer löslich. Nach seiner Einwirkung auf das Wasser bleibt so viel Sauerstoff im Wasser in Lösung, als bei gewöhnlicher Belüftung (vgl. S. 84) angenommen wird.

Über die Herstellung des Ozons läßt sich sagen, daß dasselbe sowohl auf rein chemischem als auch auf elektrischem Wege gewonnen werden kann. Die Herstellung auf elektrischem Wege geschieht durch Hochspannungsentladung, indem Sauerstoff oder ge-

Eisen im Wasser unter besonders schwierigen Umständen gebunden ist.

Man hat die Eigenschaften des Ozons in der Technik zur Verbesserung des Wassers — namentlich des Trinkwassers — sich nutzbar gemacht, und ist es die Firma Siemens & Halske gewesen, welche zuerst derartige Anlagen in die Praxis eingeführt hat. Die von der genannten Firma mit Ozonisierungsanlagen ausgerüsteten Wasserwerke in Paderborn und Wiesbaden zeigen, wie erfolgreich man mit der Anwendung dieser neuen Methode gewesen ist.

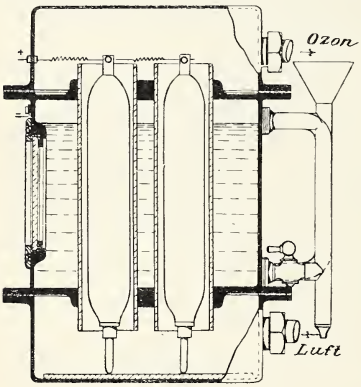


Fig. 69.

Das Ozon selbst unterscheidet sich vom Sauerstoff insofern, daß sein Molekül nicht aus zwei Atomen (Sauerstoff der Luft), sondern aus drei Atomen besteht. Bei Berührung mit oxydierbaren Körpern geht eines von den drei Atomen in Reaktion, und es verbleibt der gewöhnliche Luftsauerstoff. Im Wasser ist Ozon schwer löslich. Nach seiner Einwirkung auf das Wasser bleibt so viel Sauerstoff im Wasser in Lösung, als bei gewöhnlicher Belüftung (vgl. S. 84) angenommen wird.

Über die Herstellung des Ozons läßt sich sagen, daß dasselbe sowohl auf rein chemischem als auch auf elektrischem Wege gewonnen werden kann. Die Herstellung auf elektrischem Wege geschieht durch Hochspannungsentladung, indem Sauerstoff oder ge-

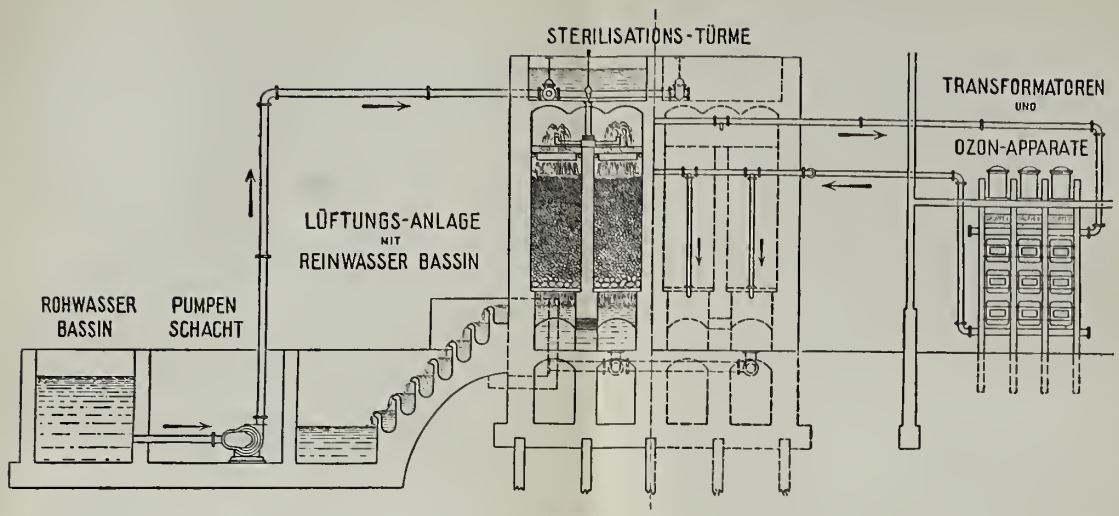


Fig. 70.

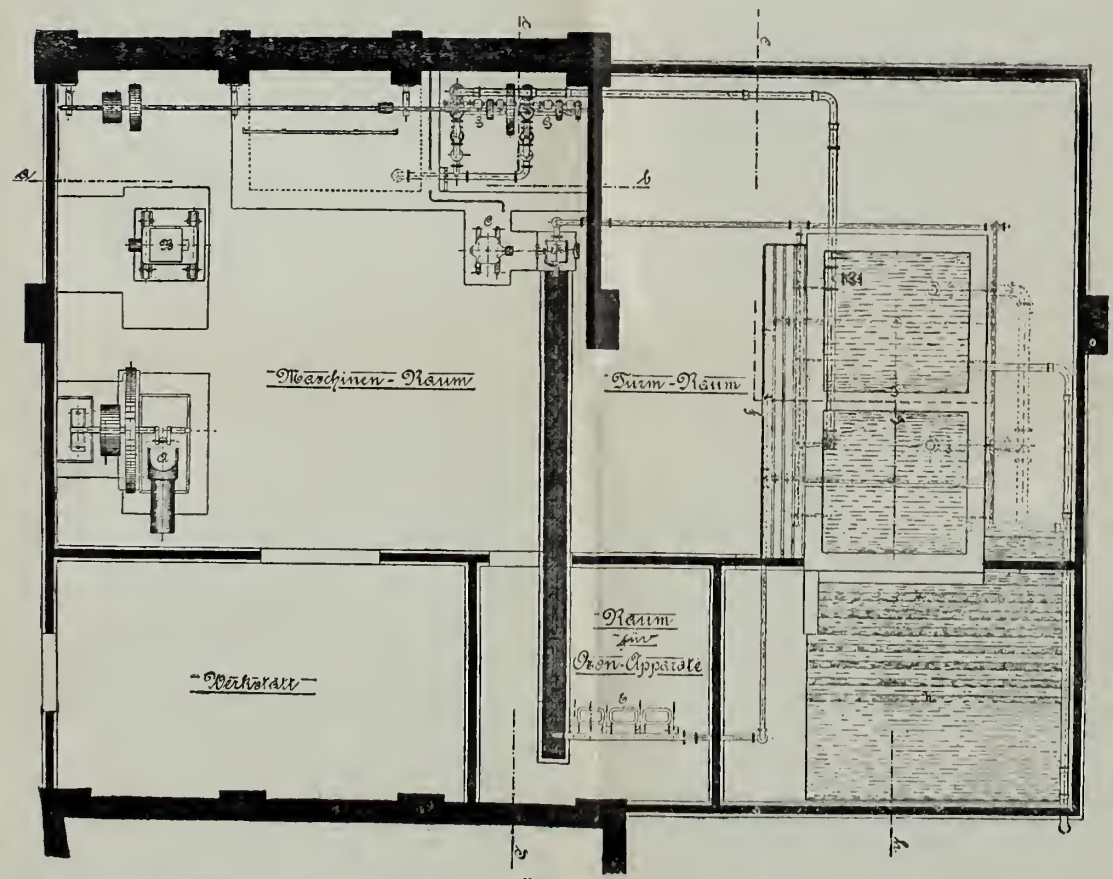


Fig. 71.

Zu Rottmann, Wasser.

wöhnliche Luft einer stillen blauen Entladung ausgesetzt werden. Diese Ozonisierung wird in Apparaten der nebenstehenden Fig. 69 vorgenommen. Die Luft strömt unten ein und tritt durch eine größere Anzahl Röhren, in welchen die Entladungen des Hochspannungsstromes kontinuierlich erfolgen. Beim Passieren der Rohre wird die Luft ozonisiert. Zur Kühlung des Apparates werden die Ozonrohre ständig von Kühlwasser umspült. Zum Zwecke besserer Ozonausbeute wird die Luft zweckmäßig vorgetrocknet und unter mäßigem Druck durch die Apparate geleitet.

Um nun ein Bild solcher Ozonisierungsanlagen zu geben, sei im nachfolgenden die Anlage Paderborn von der Firma Siemens & Halske, Berlin, besprochen, und zwar zeigt Fig. 70 einen Aufriß und Fig. 71 einen Grundriß dieser Anlage. Eine im Pumpenschacht befindliche Pumpe saugt das Rohwasser aus dem Rohwasserbassin an und pumpt es auf einen Hochbehälter, von welchem es auf die sogenannten Sterilisationstürme gelangt. Es sind dies gemauerte Behälter, welche mit Kies gefüllt sind. Das zu reinigende Wasser rieselt von oben herab, während ihm von unten das Ozon entgegentritt. Dieses Ozon wird in dem Apparat Fig. 71 rechts erzeugt. Es befindet sich dort eine ganze Batterie derartiger Einzelapparate, wie sie oben besprochen wurden. Zur Erzeugung der Hochspannung sind sie mit Transformatoren zusammengeschaltet. Zum Zwecke der Ersparnis wird den Ozonapparaten die Luft aus dem oberen Teil der Sterilisationstürme immer wieder zugeführt. Das Reinwasser wird unterhalb der Türme in einem gemauerten Behälter aufgefangen und fällt von hier über Kaskaden zum Zwecke der Lüftung in den Reinwasserbehälter, aus welchem es für den Gebrauch entnommen werden kann.

Einer der an Hand der Fig. 69 besprochenen Ozonisierungsapparate arbeitet mit einer Betriebsspannung von 8000 Volt und hat einen Kraftbedarf von 1 PS. Er liefert 13,5—27 g Ozon pro Stunde, so daß in 24 stündiger Betriebszeit eine Wassermenge gereinigt wird, welche dem Tagesverbrauch von 2400—4800 Menschen entspricht bei Annahme eines Bedarfes von 100 l pro Kopf.

Alphabetisches Sachregister.

Aerobe Mikroben 7.
Ätzkalk 96.
Ätznatron 96.
Ammoniak 25.
Ammoniaklösung 41.
Ammonkarbonatlösung 41.
Ammoniumchloridlösung 41.
Ammoniumrhodanitlösung 39.
anaerobe Mikroben 7.
Asbestzellulose 77.
Automatischer Chemikalienzusatz 104.

Bakterien 5.
Baryumchloridlösung 40.
Bezeichnung der Zusätze 100.
Betriebskontrolle 43.
Bleibende Härte 30.
Bleichereien 16.
Brauereien 17.
Brennereien 17.

Calzium 24, 36, 41.
Chemische Behandlung 83.
Chemische Beimengungen 97.
Chemische Zusätze 96.
Clarksche Härteprüfung 32.
Chlor 25, 38.
Chlormagnesia 99.

Doppeltkohlensaurer Kalk 97.
Doppeltkohlensaure Magnesia 97.

Eisen 26, 39.
Eisenchloridlösung 39.
Eisfabrikation 18.
Elektrizität 155.
Enteisenung 83.
Enthärtung 94.
Entnahme von Wasserproben 21.
Essigsäure 41.

Fabrikationswasser 12.
Färbereien 16.
Feste Niederschläge 95.
Filterpresse 76.
Filterung 65.

Gebrauchswasser 12.
Gegenstrom zur Filterreinigung 70.
Gerbereien 17.
Geruch des Wassers 23.
Gesamthärte 29.
Geschmack des Wassers 23.
Grundwasser 4.

Härte des Wassers 6, 27 ff.
Härtebestimmung nach Wartha 35.

Härtebestimmung nach Knöfler 36.
Härtegrade 28.
Hefefabriken 18.

Kaliumchlorat 39.
Kaliumchromatlösung 38.
Kalk-Barytverfahren 151.
Kalk-Sodaverfahren 94.
Kalkwassersättigung 108.
Kesselspeisewasser 14.
Klärung des Wassers 50.
Kleinfilter 78.
Kohlensäure 24, 36.
Kohlensaurer Kalk 27.
Konstruktion von Klärbehältern 64.
Kosten der Enthärtung 152.

Langsamfiltration 66.
Lederfabriken 17.
Lokomotivkessel 15.

Magnesia 24, 36, 42.
Meerwasser 4.
Meteorwasser 4.
Mineralwasser 4.
Mittel zur Wasserenthärtung 153.

Natriumphosphatlösung 42.
Neßlersche Reagenz 26.
Normalätznatronlösung 38.
Normalsalzsäure 38.
Normalsilberlösung 38.
Normalsodalösung 38.

Oberflächenwasser 4.
Organische Substanz 26, 99.
Oxalsäurelösung 41.
Ozonisierung 156.

Papierfabriken 16.
Petroleumzusatz 154.
Phosphorsäure 26.
Poröse Tonzellen 75.

Qualitative Untersuchung 23
Quantitative Untersuchung 27.

Rührwerk für Filter 70.

Salpetersäure 25, 42.
Salpetrige Säure 25.
Schnellfiltration 69.
Schwebestoffe 5.
Schwefelsäure 25, 40.
Schwefelsaurer Kalk 98.
Schwefelwasserstoff 26.
Schwimmstoffe 5.
Silbernitratlösung 42.
Sinkgeschwindigkeit 61.
Sinkstoffe 5.
Soda 97.
Stärkefabriken 17.

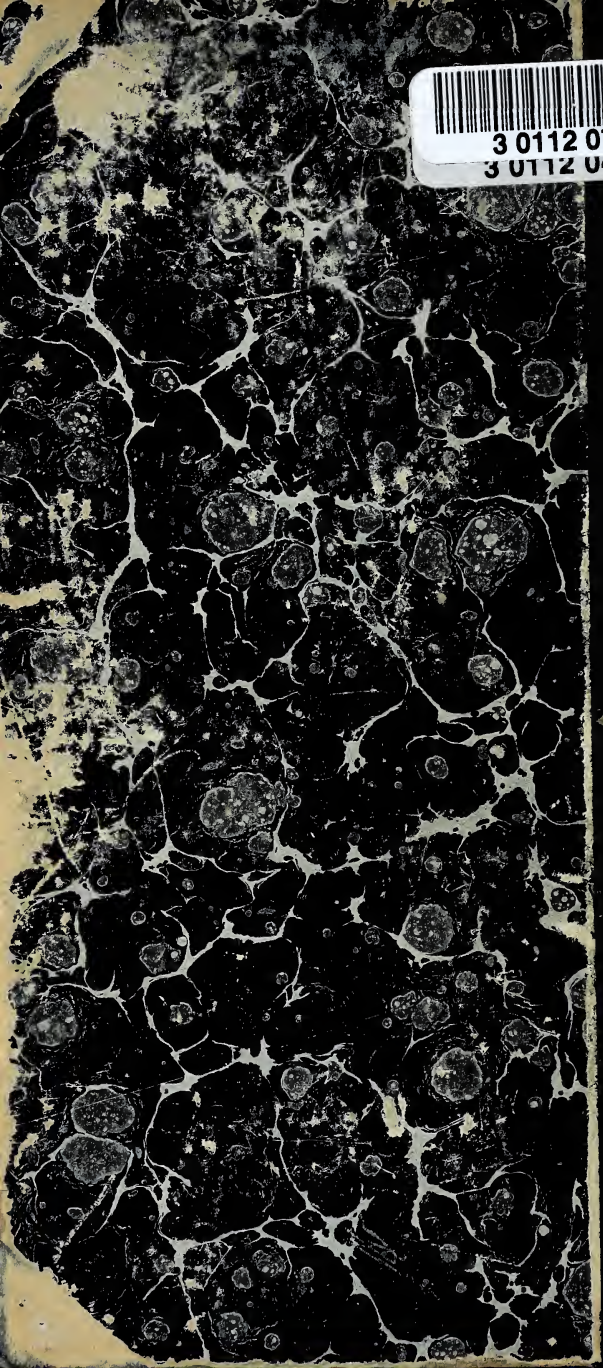
Tonerde 99.
Tonwarenfabriken 18.
Trinkwasser 12.
Tuchfabriken 16.

Untersuchung des Wassers 20.

Vorgänge bei der chemischen Behandlung 97.
Vorübergehende Härte 30.
Vorwärmung 121.

Waschanstalten 16.
Wasserverbesserungsapparate 109.

Zellulosefabriken 16.
Zuckerfabriken 18.
Zusätze 96.


3 0112 077843206
3 0112 048578444